

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoinformatika



Jan Doležal

Rostliny jako indikátory půdních vlastností

Plants as indicators of soil properties

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Chuman Ph.D.

Praha, 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 8. 5. 2016

Podpis.....

Jan Doležal

Poděkování:

Rád bych tímto způsobem poděkoval především RNDr. Tomáš Chuman, Ph. D. za vedení mé bakalářské práce, cenné rady, věnovaný čas, odborné připomínky a trpělivost. Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu během celého studia.

Abstrakt

Půda v budoucnu bude stále důležitějším přírodním zdrojem, půda je degradována, ubývá organické hmoty, mění se chemismus, dochází k její nadměrné exploataci. Místní vegetace může být obrazem specifických vlastností půdy, právě tyto vlastnosti stanoviště mohou poukázat na procesy probíhající v půdě. Schopnost rostlin indikovat půdní vlastnosti jsou popisovány u řady druhů, proto bylo v první části práce cílem vytvořit literární rešerši o rostlinných indikátorech. A v praktické části pak zhodnotit těsnost vztahu mezi vybranými půdními vlastnostmi a jejich hodnotou odvozenou na základě indikace druhovým složením ve dvou vybraných povodích.

Klíčová slova: flóra, fytoindikace, půda, vegetace, ellenbergovy indikační hodnoty, povodí GEOMON

Abstract

Soil will be more important natural resource in the future, soil is degradation due to organic matter depletion, soil acidification and nutrient leaching, soil erosion, soil sealing is still ongoing. The local vegetation can serve as an estimate of habitat properties, these properties may highlight the ongoing processes in the soil. The ability of plants to indicate soil properties are described in a variety of species. The first part of this work is a review of literature which is dealing with plant indicators and the practical part is to evaluate the tightness of the relationship between selected soil properties and their values derived on the basis of the indicator species composition in two selected river basins.

Keywords: flora, phytoindication, soil, vegetation, ellenberg indicator values, GEOMON river basin

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Rostliny jako indikátory půdních vlastností	8
2.1. Indikace chemických vlastností.....	11
2.1.1. Indikace půdní reakce	11
2.1.1.1. Vápnité podklady.....	16
2.1.1.2. Silikátové podklady	21
2.1.2. Indikace půd zasolených	26
2.1.3. Indikace půd obohacených o dusík	28
2.1.4. Indikace hadců	32
2.1.5. Indikace skalních štěrbin	33
2.1.6. Indikace těžkých kovů	35
2.2. Indikace fyzikálních vlastností.....	36
2.2.1. Indikace vláhových poměrů	36
2.2.1.1. Půdy suché.....	36
2.2.1.2. Půdy vlhké	39
2.2.2. Indikace podzemní vody	40
2.2.3. Indikace povrchových vod	41
3. Materiály, metodika a výsledky.....	45
3.1. Výsledky	47
4. Diskuze	59
5. Závěr	62
Přehled použité literatury	63
Seznam příloh.....	68

Seznam obrázků

Obr. 1 – Schéma působení půdního pH na dostupnost živin	13
Obr. 2 – Požadavky na světlo v závislosti na pH.	14
Obr. 3 – Ekologická valence vybraných dřevin.....	16
Obr. 4 – Zasolování důsledkem vysoké evapotranspirace.....	27
Obr. 5 – Výskyt vybraných druhů na modelovém území.....	29
Obr. 6 – Postupný sled vegetace na říční nivě	40
Obr. 7 – Vybraná povodí projektu GEOMON.....	46
Obr. 8 – Geologie povodí vodního toku Červík	51
Obr. 9 – Koncentrace dusíku v půdách povodí Červík	52
Obr. 10 – Aktivní půdní reakce půd v povodí Červík	52
Obr. 11 – Výměnná půdní reakce půd v povodí Červík.....	53
Obr. 12 – Geologie povodí vodního toku Černá Nisa	56
Obr. 13 – Koncentrace dusíku v půdách povodí Černé Nisy	57
Obr. 14 – Aktivní půdní reakce půdy v povodí Černé Nisy	57
Obr. 15 – Výměnná půdní reakce půdy v povodí Černé Nisy.....	58

Seznam tabulek

Tabulka 1 – faktory ovlivňující výskyt rostliny	9
Tabulka 2 – vliv listů listnatých dřevin na pH půdy ve smrčině u Curychu	12
Tabulka 3 – indikační hodnoty povodí Červík.....	50
Tabulka 4 – indikační hodnoty pro povodí Uhlířská.....	55

1. Úvod

Jedním z hlavních podnětů pro vznik této práce byl autorův zájem o půdu, která je dle autora nejdůležitějším přírodním zdrojem a základním stavebním kamenem života na Zemi. Půda poskytuje prostředí pro život rostlin, které jsou přímo závislé na vlastnostech půdy. Každá rostlina je měřítkem podmínek, ve kterých roste.

Již v době počátku zemědělství měl člověk pravděpodobně ponětí o tom, jaký je vztah mezi půdou a rostlinami. V roce 77 n. l. Gaius Plinius Secundus zaznamenal poznatky Cata staršího, že na místě výskytu doubrav se nacházejí úrodná pšeničná pole (Plinius, 1634). Ve věku kolonizace nových zemí bylo potřeba vědět, jestli je oblast vhodná pro přežití člověka nebo ne. Člověk by nepřežil, pokud by správně neodhadl vlastnosti půdy. Půda má v přírodě mimořádně významnou úlohu jako zóna, v níž se stýká život se zemskou kůrou. Jedná se o složitý systém ovlivňující život na celé Zemi, neboť na jeho vlastnostech potravně závisí veškerý život včetně člověka (Tomášek, 1995). V dnešní době je půda základní zdroj produkce většiny potravin a krmiv, zároveň je velice důležitou základnou biodiverzity. Znát půdní vlastnosti je důležité, takové znalosti umožňují člověku optimální využití krajiny. Řadu půdních vlastností je možné odhadnout na základě druhového složení vegetace.

Indikační schopnosti rostlin jsou popisovány u řady druhů, proto bylo v první části práce cílem vytvořit literární rešerši o rostlinných indikátorech a v praktické části práce zhodnotit vztahy mezi vybranými měřenými půdními vlastnostmi a jejich hodnotou odvozenou na základě indikace druhovým složením ve dvou vybraných povodích.

2. Rostliny jako indikátory půdních vlastností

Na základě empirických znalostí abiotických nároků jednotlivých rostlin, je možné rostliny, zejména ty s úzkou ekologickou valencí, využívat jako indikátory abiotických faktorů. Výskyt určitého druhu organismu poukazuje na určité podmínky prostředí. Na úvod je ale dobré poznamenat, že nelze posuzovat stanoviště podle jediné rostliny, nýbrž je třeba se zaměřit na celé rostlinné společenstvo (Clements, 1928). Musíme si uvědomit, že rostlinný porost je určitým obrazem vnějších podmínek (tabulka 1), ať už mluvíme o podmínkách klimatických, půdních či biologických. Podmínky klimatické jsou určující, podmiňují vytvoření zonální vegetace, ale mohou být převáženy specifickými edafickými podmínkami. Na takových místech se vytváří azonální vegetace, která může být podmíněna například vysokou hladinou podzemní vody, zasolením aj. V takovémto případě je výskyt společenstva indikátorem určitých půdních vlastností nepřímo závislých na klimatu (Sýkora, 1959). Jak bylo již řečeno, nelze se zaměřit pouze na jeden faktor. Například ptačinec velkokvětý (*Stellaria holostea*) prosperuje na půdách kyselých i zásaditých, ale na půdě kyselé potřebuje 10x více světla než na půdě zásadité (Ellenberg, 2009).

Některé rostlinné druhy jsou naopak velmi přesnými rostlinnými indikátory edafických podmínek nebo unikátních geomorfologických podmínek (Kruckeberg, 2004). Dobře známými jsou rostlinné indikátory specifických substrátů, například vápenců nebo hadců. Vápencové substráty na našem území dobře indikuje pěchava vápnomilná (*Sesleria caerulea*), hadcové indikuje například podmrška hadcová (*Notholaena marantae*), blíže viz navazující kapitoly, v příloze č. 2 jsou vyobrazeny vybrané rostlinné indikátory.

Sýkora (1959) rozděluje fytoindikaci na přímou a nepřímou. Kde nepřímá fytoindikace nám pomáhá pouze orientačně a nelze přímo určit vlastnosti půdního substrátu. Vegetaci můžeme například využít k tomu, že její náhlá změna nám signalizuje změnu půdních vlastností. To si lze představit v oblasti, kde náhle přechází bučina v bor, to může být způsobeno změnou podkladu (na vulkanitech vystupujících v Ralské pahorkatině nalezneme bučinu, na křídových pískovcích bor) nebo ke změně druhového složení dojde při změně vlhkostních podmínek půdy. Výhoda této metody

je, že není nutná znalost konkrétních rostlinných druhů a zároveň lze odhadnout změnu již z větší vzdálenosti. Přímá indikace naopak vyžaduje znalost konkrétních druhů.

Tabulka 1 – faktory ovlivňující výskyt rostliny (Billings, 1952)

půdní vlastnosti	mateční hornina	kyselá hornina	přítomnost minerálů struktura náchyllost k zvětrávání
		zásaditá hornina	přítomnost minerálů struktura náchyllost k zvětrávání
	půda	fyzikální vlastnosti	hloubka struktura půdní zrnitost půdní vlhkost půdní vzduch
		chemické vlastnosti	jílové minerály kationtová výměnná kapacita pH anionty organické sloučeniny
		biotické vlastnosti	půdní flóra půdní fauna kvalita opadu a humusu
biotické vlastnosti	ostatní rostliny	kompetice	o světlo o vodu o živiny pokryv
		ovlivnění	opad a humus chemické vlastnosti fyzikální vlastnosti
	zvířata	destruktivní účinky	rostliny jako potrava vliv na půdu - pošlapání
		pozitivní účinky	šíření semen vliv na živiny
	člověk	lokálně může změnit jakýkoliv faktor	

Přímá indikace

Přímá indikace slouží k určení vlastností substrátu pomocí rostlinného společenstva. Je známo, že rostliny preferují určité půdní vlastnosti. Můžeme rozeznat:

- rostliny, které preferují půdy zásobené karbonáty, takové rostliny jsou kalcifilní (vápnobytné/vápnomilné)
- rostliny kalcifobní (vápnostřežné/vápnobojné), ty se naopak karbonátovým substrátům vyhýbají
- rostliny tolerující vyšší zasolení půdy, tedy halofilní (slanomilné)
- rostliny vyžadující nadbytek dusíku v půdě nazýváme nitrofilní (dusíkomilné)
- rostliny vyžadující substráty bohaté na humus, se nazývají humikolní (humifyty)
- rostliny rostoucí na spáleništích (antrakofyty)
- rostliny vyžadující kyselé prostředí (acidofilní)
- rostliny vyžadující neutrální prostředí (neutrofilní)
- rostliny vyžadující zásadité prostředí (bazifilní)

Výše uvedené dělení je podle chemické povahy substrátu, jako další se nabízí dělení dle fyzikálních vlastností:

- xerofilní (suchomilné) rostliny, které jsou přizpůsobeny k životu v prostředí s nedostatkem vláhy
- rostliny hygrofilní (vlhkomilné)
- rostliny termofilní (teplomilné), vyžadující vysoké teploty
- rostliny psychrofilní (studenomilné)
- rostliny chionofilní (sněhomilné)
- rostliny chionofobní (sněhobojné)

Specifický chemismus, či fyzikální vlastnosti prostředí se mohou různě doplňovat a kombinovat. Specifický chemismus dobře indikují rostliny, které jsou vázány na skalní podklad a to například jako rostliny rostoucí ve skalních štěrbinách (chasmofyty) nebo rostliny rostoucí na skalách (lithofyty). Druhy kyselých substrátů (acidofyty) často najdeme na nezpevněných píscích (psamofyty). Rostlina může být zároveň psychrofilní a kalcifilní. Možné jsou samozřejmě i další kombinace. Některé rostliny snášejí široké spektrum abiotických podmínek – mají širokou ekologickou

valenci. Jiné mají úzkou ekologickou valenci a snášejí úzké spektrum abiotických podmínek. Výskyt rostlin v přírodě je však ovlivněn nejen abiotickými podmínkami, ale také biotickými interakcemi a často se liší tzv. základní a realizovaná nika. Realizovaná nika je zúžená vlivem konkurence.

Výhodou přímé indikace je, že můžeme popsat lépe vlastnosti daného stanoviště. Lze říci, že oblast popíšeme podrobněji než v případě nepřímé indikace. Nevýhodou přímé fytoindikace je, že musíme poznat jednotlivé rostlinné druhy nebo alespoň konkrétní společenstva.

2.1. Indikace chemických vlastností

2.1.1. Indikace půdní reakce

Půdní reakce je dána přítomností a aktivitou vodíkových iontů. Kyselá půda je důsledkem odstranění bazických kationtů (Ca, Mg, Na a další) z organických koloidů, z jílových minerálů, dále důsledkem nitrifikačních procesů. Další příčinou kyselosti může být hnojení fyziologicky kyselými hnojivy, jako jsou například síran amonný, draselná sůl nebo síran draselný. K acidifikaci přispívá i mokrá depozice, což je vlastně kyselý déšť a suchá depozice, která se uplatňuje v oblastech s vysokými koncentracemi SO_2 a NO_x v ovzduší. Suchá depozice funguje na tomto principu: SO_2 se z atmosféry dostává na povrch vegetace, kde oxid siřičitý oxiduje na H_2SO_4 , která je při následujícím dešti spláchnuta do půdy (Hruška, 2001). Půda se snaží neutralizovat kyselinu, při tomto procesu dojde k uvolnění bazického kationtu ze sorpčního komplexu a jeho následnému vyplavení z půdy.

Půdy obsahují různé druhy bazických kationtů (Ca, Mg, Na a další). Tyto látky jsou z půdy postupně uvolněny vyluhováním nebo absorpcí rostlin. Při jejich odstranění dochází k nahrazení ionty H^+ a Al^{3+} , které zvyšují kyselost půdy, dojde tedy k poklesu pH (Wade a spol., 1980). Při akumulaci kyselých iontů dochází k vytlačování bazických kationtů do půdního roztoku, takto jsou vyplavovány pryč z dosahu rostlin a to má za následek snížení úrodnosti půdy.

Přirozených faktorů, které ovlivňují pH je několik. Pokud například srážky převažují nad výparem, pak jsou z půdy vymývány půdní minerály a báze. Acidifikace je i přirozený proces v průběhu interglaciálu. V dobách ledových převládá usazování vápnité spraše, v dobách meziledových pak dochází k postupnému vymývání

karbonátů z půdy (Birks, 2004). Dalším faktorem je přítomnost organické hmoty v půdě a její doplňování. Organická hmota je ovlivněna biochemickými pochody, dochází k rozkladu organické hmoty a k tvorbě huminových látek. Mezi ně spadají huminové kyseliny a fulvokyseliny. Například opad jehlic smrku (*Picea sp.*), borovice (*Pinus sp.*), vřesu (*Calluna sp.*) či brusinky (*Vaccinium sp.*) má za následek vznik fulvokyselin a ty následně způsobují rozklad minerálního podílu půdy. Zároveň jejich opad je hůře rozložitelný, což má za následek, že obsah živin, které obsahují, není přístupný kořenům. Mead a spol. (1995) uvádí, že v Kanadě byly odebrány vzorky půdy na místech nově vysazeného lesa a po 46 letech byly odebrány znovu. Na místech výsadby borovice lesní se snížilo pH průměrně z 6,0 na 5,3 a na místech se smrkem sivým (*Picea glauca*) došlo ke snížení pH z 6,0 na 4,7 (Mead a spol., 1995). Toto je známo i z naší lesnické praxe. Na druhé straně jsou rostliny, které svým opadem přispívají ke zvýšení pH. Takové druhy můžeme nazvat jako meliorující, mezi které patří například lípa (*Tilia sp.*), javor (*Acer sp.*) a jilm (*Ulmus sp.*) (Moravec, 1994). V tabulce 2 jsou uvedeny výsledky šestiletého pokusu (Ellenberg, 1978), který byl proveden ve smrčině u Curychu, kde na místa smrčin byla navezena vrstva listů listnatých dřevin. Po šesti letech došlo ve všech případech k růstu pH.

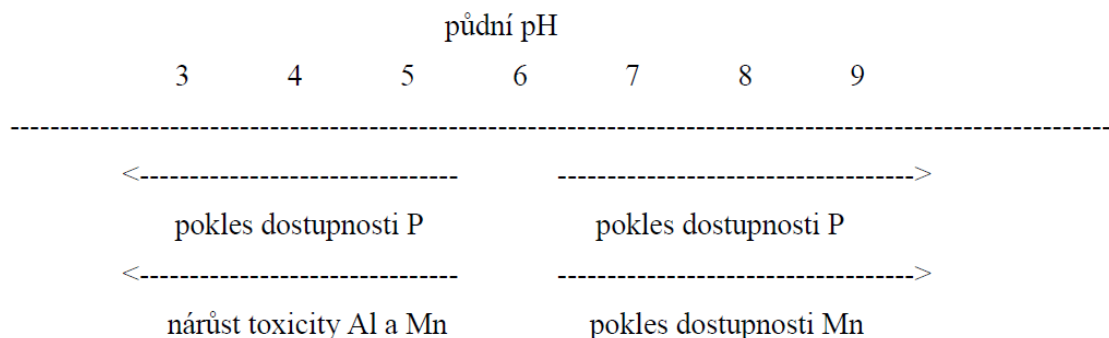
Tabulka 2 – Vliv listů listnatých dřevin na pH půdy ve smrčině u Curychu. A původní pH půdy ve smrčině před pokusem, B pH těže půdy po šestiletém působení navezenou vrstvou listů listnatých dřevin (Slavíková 1982, podle Ellenberga 1978)

listy dřevin	A	B	rozdíl
lípa srdčitá (<i>Tilia cordata</i>)	5,2	6,5	1,3
javor klen (<i>Acer pseudoplatanus</i>)	5,2	6,5	1
jasan ztepilý (<i>Fraxinus excelsior</i>)	5,3	6,1	0,8
habr obecný (<i>Carpinus betulus</i>)	5,6	5,8	0,2
dub letní (<i>Quercus robur</i>)	5,1	5,3	0,2

Rostliny mají různé nároky na pH, některé vyžadují pH kyselé, neutrální nebo zásadité. Každý druh má jiné nároky. Například sazenice borovice Banksovy (*Pinus banksiana*) při zvýšené hodnotě pH omezí růst kořenového systému, sníží se koncentrace chlorofylu a také se omezí transport vody (Zhang a spol., 2015). Nízké pH ovlivňuje rozpustnost hliníku a manganu, které mohou být pro některé druhy

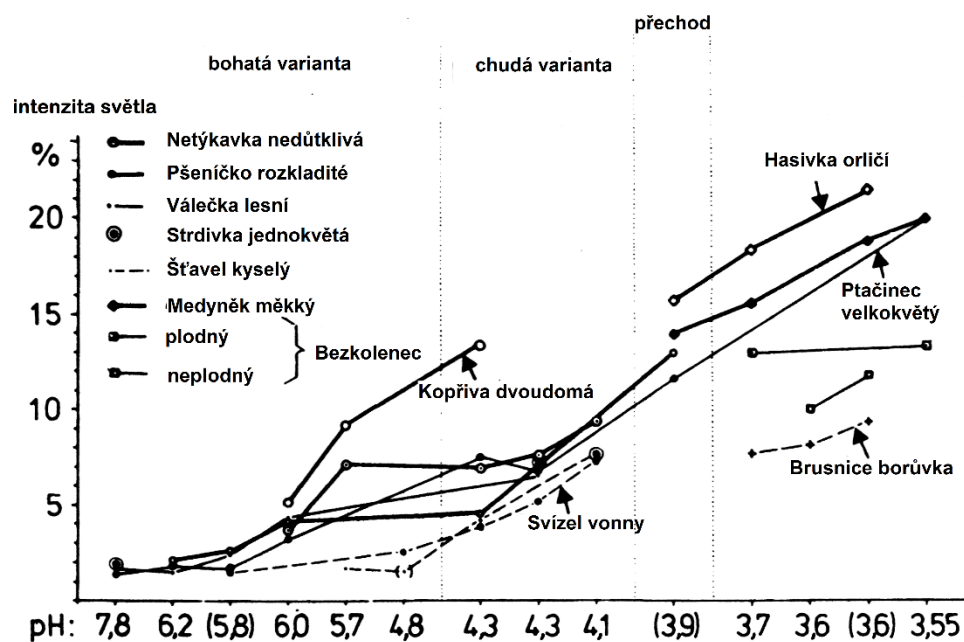
toxické, například hliník působí na kořeny a zastavuje jejich růst a zároveň působí na děje probíhající v buňce (Delhaize a spol., 1995).

Obecně lze říci, že pH ovlivňuje dostupnost živin. Kyselé půdy disponují Fe, Mn, B, Cu, Zn, Al, zásadité pak N, P, K, S, Ca, Mg, Mo. Nedostatek, či nadbytek těchto živin může mít neblahé důsledky pro rostliny. Je známo, že nadbytek vápníku vyvolává nedostatek železa, který se projeví chlorózou (žloutenkou). Efekt půdní reakce na dostupnost živin je souhrnně zobrazen níže na obrázku 1.



Obr. 1 – Schéma působení půdního pH na dostupnost živin (Kovář 2001, podle Killhama 1996)

U některých druhů rostlin může být kyselost půdy kompenzována jinými faktory. Například ptačinec velkokvětý (*Stellaria holostea*) vyžaduje více než 10x více světla na půdách velmi kyselých než na půdách neutrálních (Ellenberg, 2009). Jeho metabolismus je mnohem efektivnější na neutrální půdě. Ale jak je vidno na obrázku níže, může přežít i na půdě kyselé. Ellenberg (2009) píše, že některé druhy dokáží růst i na půdách kyselejších než je pro ně obvyklé. Takto nepříznivé podmínky můžou být částečně kompenzovány zvýšeným přísunem světla, to lze vidět na obrázku 2.



Obr. 2 – Požadavky na světlo v závislosti na pH. (Ellenberg, 2009)

Silně kyselou reakci půd vyhledávají rostliny vrchovišť, rašeliníky (*Sphagnum spec.*, pH 3-5), suchopýr pochvatý (*Eriophorum vaginatum*). Dále smilka tuhá (*Nardus stricta*, 3,7-5), vřes obecný (*Calluna vulgaris*, pH 4,6-5,8), brusnice brusinka (*Vaccinium vitis-idea*), brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*) (Chytrý, 2007).

Mírně kyselé půdy s pH v rozmezí 5-6 indikují trávy a byliny květnatých lad (Sýkora, 1959):

sasanka hajní	<i>Anemone nemorosa</i>
tomka vonná	<i>Anthoxanthum odoratum</i>
blatouch bahenní	<i>Caltha palustris</i>
zvonek rozkladitý	<i>Campanula patula</i>
konvalinka vonná	<i>Convallaria majalis</i>
kručinka barvířská	<i>Genista tinctoria</i>
šťavel kyselý	<i>Oxalis acetosella</i>
šťovík menší	<i>Rumex acetosella</i>

Ellenberg (2009) popisuje šťovík menší jako zřetelný indikátor kyselosti, kdežto Artist (1931) píše, že se může nacházet na půdách mírně kyselých i zásaditých. Mírně kyselé

až neutrální půdy s pH v rozmezí 6-7, s průměrným přísunem vody, kyslíku a živin, indikují rostliny luk a listnatých hájů (Sýkora, 1959). Příkladem mohou být:

jedle bělokorá	<i>Abies alba</i>
bršlice kozí noha	<i>Aegopodium podagraria</i>
česnek medvědí	<i>Allium ursinum</i>
jasan ztepilý	<i>Fraxinus excelsior</i>
jaterník podléška	<i>Hepatica nobilis</i>
lipnice hajní	<i>Poa nemoralis</i>

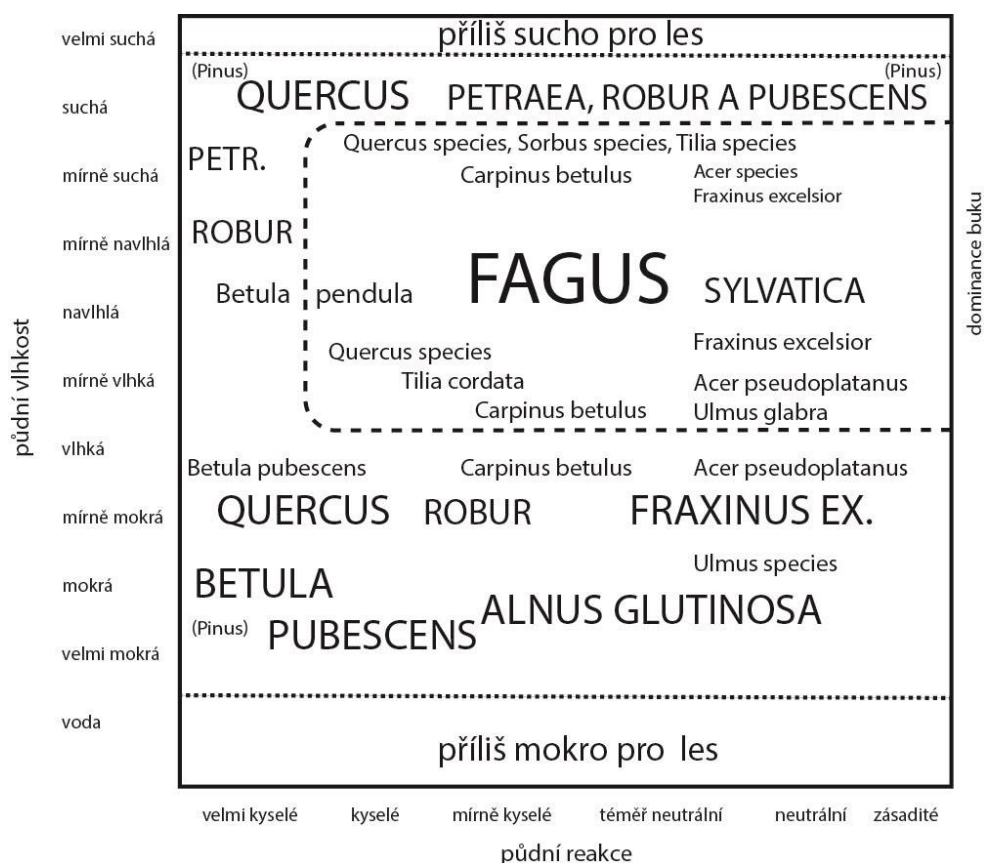
Neutrální až alkalické půdy (pH 7-8) indikují rostliny šipákových doubrav a tak zvaného komplexu stepního (Sýkora, 1959). Pro půdy alkalické jsou charakteristické výběrem tyto druhy:

kozinec bezlodyžný	<i>Astragalus exscapus</i>
kozinec vinčencovitý	<i>Astragalus onobrychis</i>
dřín jarní	<i>Cornus mas</i>
hrachor široolistý	<i>Lathyrus latifolius</i>
dub pýřitý	<i>Quercus pubescens</i>
pěchava vápnomilná	<i>Sesleria calcaria</i>

Halofyty jsou typické pro silně alkalické půdy, to jsou půdy s $\text{pH} > 8$. K nejvýznamnějším druhům patří ty, které jsou zároveň i nejvzácnější. Jedná se o rostliny rostoucí na slaniscích, dle Sýkory (1959) se jedná o tyto druhy:

hvězdnice slaniště	<i>Aster tripolium</i>
sivěnka přímořská	<i>Glaux maritima</i>
hadí mord maloúborný	<i>Scorzonera parviflora</i>
kuřinka solná	<i>Spergularia salina</i>
solnička rozprostřená	<i>Suaeda prostrata</i>

Jak bylo uvedené výše, řada druhů má úzkou ekologickou valenci k pH půdy, ale obdobně existuje mnoho druhů, jež mají valenci k pH půdy širokou (příkladem může být buk lesní, vyobrazeno na obrázku 3 s dalšími druhy). V rostlinných společenstvech je navíc nika daného druhu ovlivněna mezidruhovou kompeticí a ekologické optimum se tak odlišuje od fyziologického.



Obr. 3 – Ekologická valence vybraných dřevin (Ellenberg, 2009)

2.1.1.1. Vápnité podklady

Porosty vápnitých zemin se výrazně liší od ostatních. Jde hlavně o velkou druhovou rozmanitost (Ellenberg 2009), která už sama o sobě podává doklad o vlivu substrátu na porost. Sýkora (1959) píše: „*Nejnápadnější znakem je zevnější pestrost, náležející ve velké druhové rozmanitosti a v převaze bohatě kvetoucích bylin obvykle v doprovodu tzv. sladkých víceméně suchomilných travin.*“ Půdy vyskytující se na spraších jsou velmi úrodné a hojně využívané zemědělci. Vápenaté půdy jsou poměrně propustné pro vodu, sušší a výhřevnější (Sýkora, 1959). Půdy bohaté na vápník jsou bohaté i na ostatní živiny, jako K, Na, Mg, ale zároveň vysoký obsah Ca má negativní vliv na dostupnost živin, jako Fe, Mn a P. To se může projevit například chlorózou. Vápník může způsobit nedostupnost fosforu, například ve formě kyseliny fosforečné, takže rostliny s velkými požadavky na fosfor vypadají jako kalcifobní (Kovář, 2001).

Nejen na vápnitých půdách můžeme využít negativní fytoindikace (Sýkora, 1959), která na vápnitých substrátech ukazuje na nepřítomnost vřesovitých keřů, jako je

například brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus* L.), ze dřevin pak rostliny acidofilních smrčín.

Půdy s vysokým obsahem Ca mají specifické vlastnosti. Mají nasycený sorpční komplex, v kterém převažují ionty Ca, K, Na, Mg. Zároveň tyto půdy mají vysokou kationtovou výměnnou kapacitu. Velká sorpční kapacita je umožněna převážně jílovými minerály. Ty se dělí do skupin:

- Skupina kaolinitu
- Skupina montmorillonitu/smektitu
- Skupina illitu
- Skupina alofánu

Jílové minerály mají schopnost sorbovat na svém povrchu kationty a anionty a uvolňovat je pro výživu rostlin. Tato vlastnost je podmíněna velkou povrchovou plochou jílových minerálů. Pro porovnání například kaolinit má povrchovou plochu $30 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ kdežto montmorillonit má $700 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ (Klimo, 2000).

Půdy vzniklé na vápencích přirozeně degradují pomaleji. Přirozeným typem degradace je acidifikace, která je na vápnatých půdách utlumena pufrací CaCO_3 , alespoň do té doby, než je zásoba CaCO_3 vyčerpána (Klimo, 2000).

Dřeviny

Pro půdy bohaté na Ca jsou charakteristická společenstva listnatých lesů (*Querceto-Fagetea*). Významným ukazatelem je dub pýřitý (*Quercus pubescens*), který je náročný na teplo, zároveň dobře odolává suchu, proto se u nás vyskytuje pouze v nejteplejších oblastech Čech a Moravy. Dub pýřitý je méně odolný chladu než většina dřevin v oblasti temperátních opadavých lesů. Náročnost na teplotu dokládá i jeho fotosyntetické teplotní optimum v relativně vysokých teplotách (mezi 17 až 30 °C, pro srovnání je možné uvést jedli bělokorou, která má optimum mezi 8 až 22 °C) (Ellenberg, 2009). Vzhledem k ostatním stromům je šipák i více tolerantní k vysokým teplotám, kde například maximální teplota pro fotosyntézu je kolem 45 °C. Proti tomu jedle bělokorá má toto maximum okolo 37 °C (Ellenberg, 2009).

Na následujícím seznamu jsou druhy, které vyhledávají mělké půdy bohaté na vápník nebo další zásadité půdy. Podloží je tvořeno různými typy hornin od vápenců přes

opuky, slínovce a čtvrtohorní sedimenty. Ve vyšších nadmořských výškách jsou pak duby nahrazeny bukem lesním (*Fagus sylvatica*), ty pak v kombinaci s vypsánými druhy rostou převážně na půdách typu rendzina nebo pararendzina (Chytrý a spol., 2001). Pro toto společenstvo, které se nazývá typické doubravy (*Querceta typica*), jsou typické tyto druhy:

javor babyka	<i>Acer compestre</i>
svída dřín	<i>Cornus mas</i>
svída krvavá	<i>Cornus sanguinea</i>
líška obecná	<i>Corylus avellana</i>
hloh jednosemenný	<i>Crataegus monogyna</i>
ptačí zob obecný	<i>Ligustrum vulgare</i>
zimolez pýřitý	<i>Lonicera xylosteum</i>
jeřáb břek	<i>Sorbus torminalis</i>
kalina tušalaj	<i>Viburnum lantana</i>

Smíšené dubové lesy s dominantním dubem pýřitým jsou považovány za příklad reliktní vegetace. Pod jejich korunou lze najít submediteránní a mediteránní druhy, které jsou náročnými termofyty a heliofyty. Taková společenstva jsou schopna dlouhodobě odolávat suchu (Ellenberg, 2009). Dnes by tato společenstva mohla být více rozšířena, ale vyhledávají kvalitní půdy, převážně půdy na spraši, které jsou hojně využívány zemědělci a tak je jejich výskyt omezený.

Byliny

Můžeme rozeznat rostliny, které jsou výhradně vázány na vápnitý podklad, takovým druhům říkáme kalcifyty obligátní. Dalším druhem jsou kalcifyty fakultativní. To jsou druhy, které dávají přednost vápnitým půdám (Sýkora, 1959). U kalcifilních rostlin je nápadný jarní aspekt, kde převládá žlutá barva květů (Ellenberg, 2009).

Obligátní kalcifyty jsou druhy vázané pouze na vápnité půdy. Může se jednat o půdy mělké, hluboké nebo i o rendziny, případně o vegetaci vyskytující se na skalách a ve štěrbinách. Jejich rozšíření je omezené na teplé oblasti ČR (Sýkora, 1959).

Nápadnými rostlinami, které rostou výhradně na mělkých půdách bohatých na vápník a ostatní živiny, jsou například druhy vypsané níže. Tyto rostliny rostou převážně na slunných a teplých stanovištích od pahorkatin do podhůří (Chytrý a spol., 2001):

sasanka lesní	<i>Anemone sylvestris</i>
hvězdice chlumní	<i>Aster amellus</i>
kruštík tmavočerný	<i>Epipactis atrorubens</i>
koulenka prodloužená	<i>Globularia bisnagarica</i>
len žlutý	<i>Linum flavum</i>
tořič hmyzonošný	<i>Ophrys insectifera</i>
prvosenka jarní	<i>Primula veris</i>
pěchava vápnomilná	<i>Sesleria caerulea</i>

Na dalším seznamu jsou uvedeny druhy, které se vyskytují na bazických, většinou hlubších půdách, nacházející se na výslunných svazích, kde půdotvorným substrátem jsou spraše, sprašové hlíny nebo vápnité písky (Chytrý a spol., 2001). Příkladem pro toto společenstvo jsou rostliny:

pelyněk pontický	<i>Artemisia pontica</i>
kozinec rakouský	<i>Astragalus austriacus</i>
kozinec bezlodyžný	<i>Astragalus exscapus</i>
kozinec vičencovitý	<i>Astragalus onobrychis</i>
katrán tatarský	<i>Crambe tataria</i>
bílojetel německý	<i>Dorycnium germanicum</i>
šater svazčitý	<i>Gypsophila fastigiata</i>
kosatec nízký	<i>Iris pumila</i>
sinokvět měkký	<i>Jurinea mollis</i>
žebříce pyrenejská	<i>Libanotis pyrenaica</i>
tolice srpovitá	<i>Medicago falcata</i>
mateřídouška panonská	<i>Thymus pannonicus</i>

Další společenstvo je vázané pouze na půdy bohaté na vápník, kde půdotvorným substrátem jsou hlubší sprašové návěje, na kterých se vytvořily půdy typu černozem, hnědozem až luvizem. Pro tyto půdy jsou typické rostliny (Chytrý a spol., 2001):

třemdava bílá	<i>Dictamnus albus</i>
kosatec různobarevný	<i>Iris variegata</i>
kamejka modronachová	<i>Lithospermum purpureocaeruleum</i>
silénka hajní	<i>Silene nemoralis</i>
tolita lékařská	<i>Vincetoxicum hirundinaria</i>
violka srstnatá	<i>Viola hirta</i>

Fakultativní kalcifyty jsou druhy pro rostlinnou indikaci významnější než skupina první, a to hlavně z toho důvodu, že jsou více rozšířené, protože nevyžadují tak

specifické podmínky jako skupina předchozí (Sýkora, 1959). Ekologická valence pro pH u fakultativních kalcifitů je širší než u kalcifitů obligátních (podle indikačních hodnot pro pH dle Ellenberga (1992)). Z trav jsou typické například tyto druhy (Sýkora, 1959):

vousatka prstnatá	<i>Bothriochloa ischaemum</i>
ostřice nízká	<i>Carex humilis</i>
pýr prostřední	<i>Elytrigia intermedia</i>
kostrava valiská	<i>Festuca valesiaca</i>
bojínek tuhý	<i>Phleum phleoides</i>

Z ostatních bylin (Chytrý a spol., 2001):

mochna stříbrná	<i>Potentia arenaria</i>
hlaváč žlutý	<i>Scabiosa ochroleuca</i>
ožanka kalamandra	<i>Teucrium chamaedrys</i>
mateřídouška olýsalá	<i>Thymus glabrescens</i>
divizna knotovitá	<i>Verbascum lychnitis</i>
divizna brunátná	<i>Verbascum phoeniceum</i>
rozrazil rozprostřený	<i>Veronica prostrata</i>

Oba výše uvedené seznamy obsahují rostliny preferující výslunné svahy o různém sklonu. Najdeme je zpravidla na bazických horninách, jako jsou vápence, vápnité a slínité pískovce, vápnité slepence, spraše a sprašové hlíny nebo čediče. Půdy jsou různě hluboké, od mělkých rendzin a rankerů po hluboké půdy na spraši. Většinou jde o sekundární vegetaci vyvinutou na místech původních teplomilných doubrav (Chytrý a spol., 2001). Na dalším seznamu jsou uvedeny rostliny, které rostou v nivách malých vodních toků v nadmořských výškách mezi 450-800 m. Půdy jsou hlinité, hluboké, bývají vlhké až mokré, neutrální až slabě zásadité, většinou na flyši a vápenci (Chytrý a spol., 2001):

bršlice kozí noha	<i>Aegopodium podagraria</i>
záraza devětsilová	<i>Orobancha flava</i>
šalvěj lepkavá	<i>Salvia glutinosa</i>
kozlík lékařský	<i>Velaria officinalis</i>

Na následujícím seznamu jsou rostliny rostoucí na výslunných svazích o různém sklonu v teplých a suchých oblastech, nejčastěji na bazických horninách, například vápencích, čedičích, spraších nebo vápnitých pískovcích, v nejsušších oblastech ale i na kyselejších silikátových horninách (Chytrý a spol., 2001):

bělozářka větvitá	<i>Anthericum ramosum</i>
válečka prapořitá	<i>Brachypodium pinnatum</i>
ostřice Micheliova	<i>Carex michelii</i>
jahodník trávence	<i>Fragaria viridis</i>
kakost krvavý	<i>Geranium sanguineum</i>
oman srstnatý	<i>Inula hirta</i>
černýš hřebenitý	<i>Melampyrum cristatum</i>
kokořík vonný	<i>Polygonatum odoratum</i>
šalvěj luční	<i>Salvia pratensis</i>

2.1.1.2. Silikátové podklady

Na území Česka převládají horniny kyselé (Sýkora, 1959), což přispívá k tomu, že vegetace na těchto horninách je více rozšířená, běžná a také nejlépe známá. Horniny jsou chudé na báze, jako například granitické horniny, ruly, pískovce či břidlice. Oproti vegetaci vápnitých substrátů jsou silikátové substráty chudší a i pestrost společenstev je na silikátových substrátech menší (Sýkora, 1959). Dále Sýkora (1959) píše, že na křemičitých půdách převládají jehličnaté lesy, kyselé doubravy a na bezlesých místech pak převládají porosty vřesu. Některé acidofilní rostliny jsou vázané spíše na kyselý opad a na podkladu jsou tedy závislé nepřímo. Mohou se vyskytovat jak na půdách podzolovaných či na podzolech, tak na bazických substrátech, kde je dostatečně mocná vrstva kyselého opadu a kde došlo k vyplavení bazických kationtů ze svrchních půdních horizontů (Sýkora, 1959). Jedná se například o brusnici borůvku.

Dřeviny

Chytrý a spol. (2001) uvádí, že na chudých substrátech v polohách mezi 250 a 450 m n. m., kde matečnou horninou jsou ruly, žuly, svory a půdy jsou středně hluboké až mělké, mírně vlhké až silně vysychavé typu kambizem oligotrofní nebo rankerová, najdeme tyto druhy:

bříza bělokorá	<i>Betula pendula</i>
krušina olšová	<i>Frangula alnus</i>

dub zimní
dub letní

Quercus petraea
Quercus robur

Výše uvedené druhy Ellenberg (1992) klasifikuje jako druhy, které indikují půdy hlavně kyselé, výjimečně nacházející se na půdách neutrálních. Zároveň Ellenberg (2009) tyto druhy uvádí jako dřeviny, které se nacházejí na spíše průměrně vlhkých půdách.

Další společenstvo najdeme v terénních sníženinách, plošinách nebo úžlabinách v nadmořských výškách od 200 do 450 m n. m. Půdy těchto společenstev bývají střídavě vlhké, silně kyselé, ve spodině zhutnělé pseudogleje, tyto půdy vysychají v suchém létě nebo na podzim (Chytrý a spol., 2001).

bříza bělokorá

Betula pendula

bříza pýřitá

Betula pubescens

krušina olšová

Frangula alnus

borovice lesní

Pinus sylvestris

topol osika

Populus tremula

dub zimní

Quercus petraea

dub letní

Quercus robur

jeřáb ptačí pravý

Sorbus aucuparia subsp. *aucuparia*

Ellenberg (1992), výše uvedené druhy klasifikuje jako rostliny indikující trvale vlhké, ale ne zavodněné půdy spíše kyselé reakce.

Další společenstvo se nachází na mírných i strmějších svazích s minerálně chudými půdami, které jsou na kyselých silikátových horninách. Vyskytují se v nadmořských výškách 450-1200 m n. m. Vybrané druhy mohou růst i na minerálně bohatších horninách. Tato stanoviště jsou ale pak na exponovaných svazích a hřebetech, které jsou ochuzeny o živiny (Chytrý a spol., 2001). V takovémto lese bývá chudé bylinné patro, někdy může i úplně chybět (Culek, 2005). Mezi ně patří tyto druhy:

jedle bělokorá

Abies alba

javor klen

Acer pseudoplatanus

buk lesní

Fagus sylvatica

smrk ztepilý

Picea abies

Do dalšího společenstva můžeme zařadit dřeviny, které rostou na rašelinných půdách, ve zvodnělých terénních sníženinách či na okrajích rašelinišť. Půdy v těchto lokalitách

ještě mají přísun vzduchu, takže nedochází k tak výrazné akumulaci rašeliny jako na vrchovištích. Jedná se o gleje, které mají kyselou půdní reakci (Chytrý a spol., 2001). Na těchto půdách nalezneme výběrem druhy:

olše lepkavá	<i>Alnus glutinosa</i>
bříza bělokorá	<i>Betula pendula</i>
bříza pýřitá	<i>Betula pubescens</i>
krušina olšová	<i>Frangula alnus</i>
smrk ztepilý	<i>Picea abies</i>
borovice lesní	<i>Pinus sylvestris</i>
dub letní	<i>Quercus robur</i>
vrba ušatá	<i>Salix aurita</i>
jeřáb ptačí pravý	<i>Sorbus aucuparia subsp. aucuparia</i>

Ellenberg (1992) tyto rostliny klasifikoval jako druhy rostoucí na kyselých až skoro neutrálních půdách rostoucí na spíše vlhčích místech.

Byliny

Obligátní silikofyty jsou druhy, které se váží pouze na křemičité půdy. V oblasti Českého masívu převládají kyselé horniny, je tedy zřejmé, že vegetace na těchto půdách je v našich podmínkách rozšířenější než vegetace vápnitých půd. Pro první společenstvo jsou typické druhy, které rostou na minerálně chudých půdách, které jsou na kyselých silikátových horninách. Jedná se o sekundární vegetaci vzniklou po odlesnění na místech acidofilních bučin, borů a smrčín. Najdeme je v nadmořských výškách od 450 do 1200 m n. m (Chytrý a spol., 2001). Bylinné patro bývá poměrně chudé (Culek, 2005). Dle Ellenberga (1992) se jedná o indikátory silně až mírně kyselých půd, kde je spíše dostatek vláhy.

prha arnika	<i>Arnica montana</i>
metlička křivolaká	<i>Avenella flexuosa</i>
vřes obecný	<i>Calluna vulgaris</i>
puklérka islandská	<i>Cetraria islandica</i>
metlice trsnatá	<i>Deschampsia cespitosa</i>
smilka tuhá	<i>Nardus stricta</i>
mochna nátržník	<i>Potentilla erecta</i>
brusnice borůvka	<i>Vaccinium myrtillus</i>
brusnice brusinka	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>

Na následujícím seznamu jsou druhy, které jsou typické pro rašelinné a podmáčené smrčiny od 500 m n. m., a to v okolí pramenišť, rašelinišť, a v zamokřených terénních sníženinách na rašelinných nebo glejových půdách. Ve vyšších polohách se vyskytují na obvodech horských vrchovišť (Culek, 2005). I Ellenberg (1992) tyto rostliny hodnotí jako indikátory velmi vlhkých až zamokřených půd, které jsou zároveň silně kyselé.

metlička křivolaká	<i>Avenella flexuosa</i>
suchopýr pochvatý	<i>Eriophorum vaginatum</i>
plavuň pučivá	<i>Lycopodium annotinum</i>
ploník obecný	<i>Polytrichum commune</i>
rašeliník Girgensohnův	<i>Sphagnum girgensohnii</i>
rašeliník pobřežní	<i>Sphagnum riparium</i>
rašeliník statný	<i>Sphagnum russowii</i>
brusnice borůvka	<i>Vaccinium myrtillus</i>
vločyně bahenní	<i>Vaccinium uliginosum</i>
brusnice brusinka	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>

Fakultativní silikofyty jsou rostliny, které jsou převážně indikátory křemičitých půd, ale mohou se vyskytovat i na půdách, kde převládají podmínky jiné. Je jich větší množství než obligátních silikofytů, právě z důvodu, že je nalezneme na větším množství stanovišť.

První seznam uvádí druhy, které se vyskytují na podmáčených glejových půdách v údolí potoků, menších řek a na prameništích od nížin do podhůří, dále také v okolí rašelinných tůňek. Typické jsou pro tato stanoviště pravidelné jarní záplavy, které poskytují přirozené hnojení (Chytrý a spol., 2001). Ellenberg (1992) je hodnotí jako indikátory kyselých a velmi vlhkých až zamokřených půd, kde například violka je typickým indikátorem zamokřených a špatně provzdušněných půd. Výběrem:

psárka luční	<i>Alopecurus pratensis</i>
ostřice šedavá	<i>Carex canescens</i>
ostřice ježatá	<i>Carex echinata</i>
drábík stromkovitý	<i>Climacium denroides</i>
metlice trsnatá	<i>Deschampsia cespitosa</i>
sítina rozkladitá	<i>Juncus effusus</i>
bika ladní	<i>Luzula campestris</i>
pomněnka bahenní	<i>Myosotis palustris</i>
kozlík dvoudomý	<i>Valeriana dioica</i>
violka bahenní	<i>Viola palustris</i>

Na dalším seznamu jsou druhy, které se nacházejí na výslunných, strmých a často skalnatých svazích v nejteplejších a nejsušších oblastech. Podkladem jsou kyselé horniny, často žula, rula, granulit, břidlice (Chytrý a spol., 2001). Mezi těmito rostlinami jsou druhy, které by samostatně mohly růst na odlišných stanovištích, jako například pavinec horský nenajdeme na zásaditých půdách, kdežto rozrazil lékařský lze nalézt i na mírně zásaditých půdách. Pokud tedy rostou spolu, lze říci, že se jedná o půdu s kyselou reakcí (Ellenberg, 2009). Ellenberg (1992) tyto rostliny hodnotí jako indikátory mírně kyselých a vysychavých půd.

kručinka chlupatá	<i>Genista pilosa</i>
jestřábník chlupáček	<i>Hieracium pilosella</i>
pavinec horský	<i>Jasione montana</i>
bika hajní pravá	<i>Luzula luzuloides</i> subsp. <i>luzuloides</i>
rozrazil lékařský	<i>Veronica officinalis</i>

Dále uvedené druhy najdeme na živiny chudých substrátech, např. ruly, žuly, svory, převážně v nížinách mezi 250 a 450 m n. m. Půdy jsou středně hluboké až mělké, většinou typu kambizem, méně často ranker (Chytrý a spol., 2001). Půdy jsou zároveň vysychavé, spíše kyselé (Ellenberg, 1992).

třtina rákosovitá	<i>Calamagrostis arundinacea</i>
kostřava ovčí	<i>Festuca ovina</i>
kručinka německá	<i>Genista germanica</i>
bika hajní pravá	<i>Luzula luzuloides</i> subsp. <i>luzuloides</i>
černýš luční	<i>Melampyrum pratense</i>
rozrazil lékařský	<i>Veronica officinalis</i>

Na následujícím seznamu jsou uvedené druhy, které najdeme na terasách úvalů nebo na vátých písčích v nejnižších a nejteplejších oblastech nížin, od 180 do 230 m n. m. Půdy jsou kyselé až silně kyselé kambizemě arenické na křemičitém písku s velmi nízkou schopností udržet vodu (Chytrý a spol., 2001).

třtina křovištní	<i>Calamagrostis epigeios</i>
paličkovec šedavý	<i>Corynephorus canescens</i>
jestřábník chlupáček	<i>Hieracium pilosella</i>
bika ladní	<i>Luzula campestris</i>

černýš luční
rozrazil lékařský

Melampyrum pratense
Veronica officinalis

Ellenberg (1992) udává paličkovec šedavý jako indikátor extrémní vysychavosti a biku ladní jako indikátor extrémně až silně kyselé půdy. Rostliny na dalším seznamu jsou druhy, které rostou na vrchovištních rašeliništích nižších poloh s rozloženou rašelinou, vzácně i na zrašelinělých minerálních půdách. Půdy jsou silně kyselé a mají velmi nízkou zásobu živin a bazických iontů (Chytrý a spol., 2001).

suchopýr úzkolistý
bezkolenc modrý
brusnice borůvka
vlochyň bahenní
brusnice brusinka

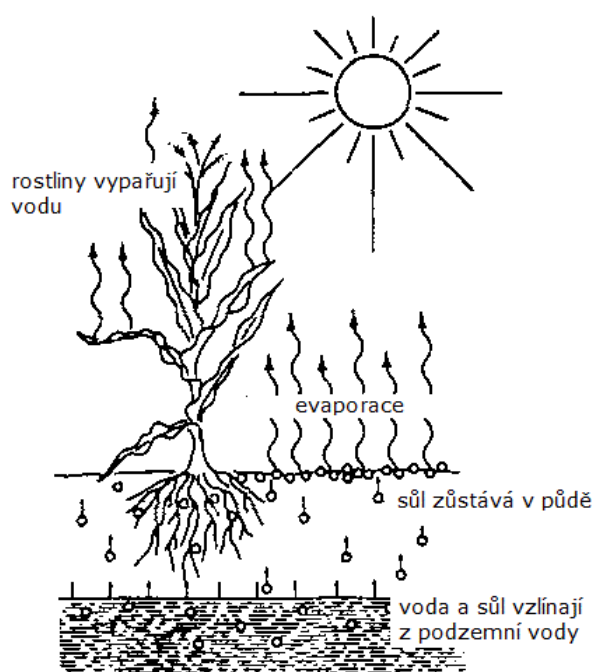
Eriophorum angustifolium
Molinia caerulea
Vaccinium myrtillus
Vaccinium uliginosum
Vaccinium vitis-idaea

Ellenberg (1992) píše, že suchopýr úzkolistý je indikátorem zamokřených, špatně prodyšných, převážně kyselých půd.

2.1.2. Indikace půd zasolených

Halofyty jsou rostliny, které tolerují a většinou i vyžadují vyšší koncentraci solí v půdním substrátu. Na území Česka nejsou slané půdy klimaticky podmíněny, vzácné výskyty rostlin jsou u nás podmíněny chemismem matečných hornin, jejichž vliv je zesílen obvykle sušším klimatem, fyzikálními vlastnostmi půdy a reliéfem (Sýkora, 1959). Díky tomu je rostlinstvo na zasolených půdách kvalitním indikátorem povahy substrátu. Tyto půdy jsou těžké, zásadité, bohaté na ionty rozpustných solí (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_3^-). Slaniska vznikají v okolí minerálních pramenů, v mokřadech sušších oblastí, kde výpar převyšuje zasakování a následkem je vztlínání iontů solí v půdním profilu (obrázek 4). Vztlínající voda je bohatá na rozpustné sole, to má za následek vznik solných výkvětů na povrchu půdy. Dalším důvodem zasolování může být i přísun soli působením větru, a to se děje na mořském pobřeží. Slaniska jsou nejlépe vyvinutá v oblastech s kontinentálním klimatem. Na jaře jsou slaniska zamokřena až silně zaplavena, což je nezbytné pro klíčení jednoletých druhů. V létě povrch půdy intenzivně vysychá a polygonálně puká (Chytrý, 2007), to dokazuje i vysoký obsah jílu. Vegetace je tou dobou již plně vyvinutá, fenologického optima dosahuje až koncem léta a na podzim (Chytrý, 2007). Všechny halofyty jsou extrémně

světlo milné rostliny a mohou vyrůst pouze na otevřených místech, kde nejsou zastíněny ostatními rostlinami (Ellenberg, 2009). Zasolené půdy se mohou vyskytovat i v oblasti ovlivněné člověkem. Jedná se o místa kolem hnojišť, stájí, silážních jam, kolem tůní, močůvkových jímek. Specifická stanoviště jsou dna odkalovacích nádrží cukrovarů a mlékáren. Tento typ vegetace může být i na dnech eutrofních rybníků nebo na obnažených dnech mrtvých ramen ovlivněných antropogenním znečištěním (Chytrý, 2007). Vysoká koncentrace solí působí na velkou část rostlin toxicky a narušuje osmotickou rovnováhu v buňkách. Rostliny přizpůsobené k růstu v zasoleném prostředí regulují obsah soli ve svých orgánech, mohou hromadit více vody a tak obsah soli ředí nebo mohou sůl vylučovat, což se projevuje krystalizací solí na povrchu rostlin.



Obr. 4 – Zasolování důsledkem vysoké evapotranspirace (Brouwer a spol., 1985)

Obligátní halofyty jsou druhy, mezi které patří naše nejohroženější druhy (Sýkora, 1959). Na první seznamu jsou rostliny, které Ellenberg (1992) popisuje jako rostliny nacházející se na přímém slunečním světle a jako druhy indikující pouze slané, vlhké až zamokřené půdy.

hvězdnice slaničná panonská	<i>Aster tripolium subsp. pannonicus</i>
prorostlík nejtenčí	<i>Bupleurum tenuissimum</i>
sivěnka přímořská	<i>Glaux maritima</i>
štírovník tenkolistý	<i>Lotus glaber</i>
jitrocel přímořský	<i>Plantago maritima subsp. ciliata</i>

hadí mord maloúborný	<i>Scorzonera parviflora</i>
kuřinka obroubená	<i>Spergularia maritima</i>
kuřinka solná	<i>Spergularia salina</i>
pampeliška besarabská	<i>Teraxacum bessarabicum</i>

Fakultativní halofyty jsou druhy, které jsou u nás více rozšířené (Sýkora, 1959):

psineček veliký	<i>Agrostis gigantea</i>
lebeda hrálovitá širokolistá	<i>Atriplex prostrata</i> subs. <i>latifolia</i>
skřípinka smáčkutá	<i>Blysmus compressus</i>
kamyšník přímořský	<i>Bolboschoenus maritimus</i>
ostřice oddálená	<i>Carex distans</i>
ostřice srstnatá	<i>Carex hirta</i>
chrpa luční	<i>Centaurea jacea</i>
zeměžluč spanilá	<i>Centaureum pulchellum</i>
pcháč šedý	<i>Cirsium canum</i>
pýr plazivý	<i>Elytrigia repens</i>
merlík sivý	<i>Chenopodium glaucum</i>
oman britský	<i>Inula brittanica</i>
komínice zubatá	<i>Melilotus mecorrhiza</i>
zdravínek jarní pozdní	<i>Odontites vernus</i> subsp. <i>serotinus</i>
zblochanec oddálený	<i>Puccinellia distans</i>
blešník uplačivý	<i>Pulicaria dysenterica</i>
pryskyřník plazivý	<i>Ranunculus repens</i>
šišák hrálovitý	<i>Scutellaria hastifolia</i>
koromáč olešnákový	<i>Silaum silaus</i>
jetel jahodnatý	<i>Trifolium fragiferum</i>

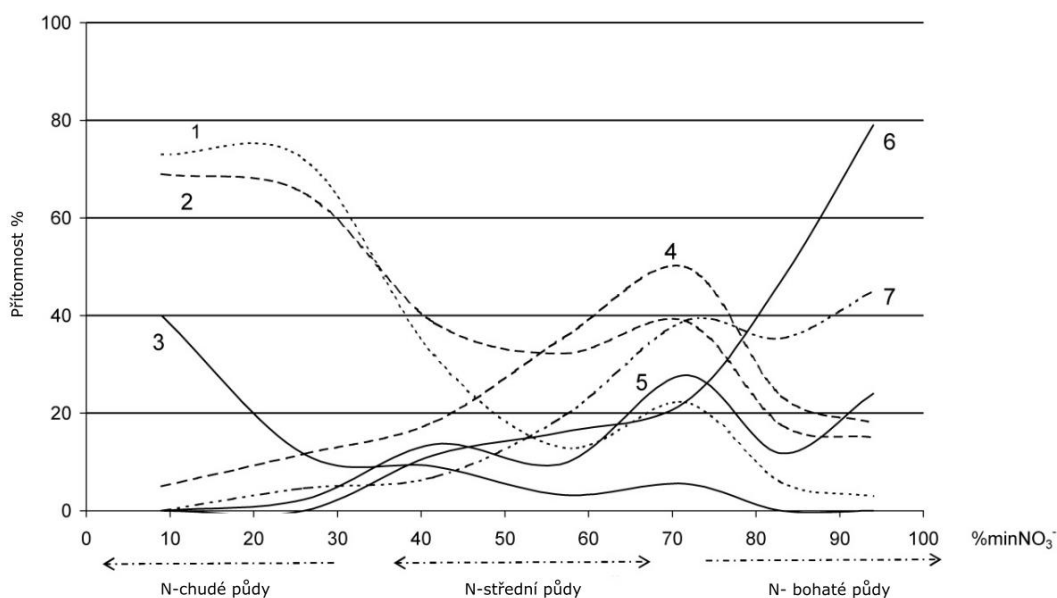
2.1.3. Indikace půd obohacených o dusík

Dusík je hned vedle vody jednou z nejdůležitějších živin pro růst rostlin. Zároveň je živinou, jejíž přítomnost může člověk zásadně ovlivňovat. Dusík je základním elementem rostlinných bílkovin, vyskytuje se v genetickém materiálu a je velice důležitý v době růstu rostliny.

Půdní dusík existuje ve třech formách: organický dusík, amonné ionty (NH_4^+) a dusičnanové ionty (NO_3^-). Většina dusíku v půdě je přítomna v organických formách, ať už v rostlinných nebo živočišných zbytcích, v živých půdních organismech, hlavně mikrobech, jako jsou bakterie. Tyto formy dusíku nejsou rostlinám přímo dostupné,

část ho může být přeměněna do dostupné formy mikroorganismy. Převážná část rostlinám dostupného dusíku existuje ve formě anorganických forem NH_4^+ a NO_3^- .

Dusík je limitujícím faktorem ve většině lesů mírných šířek a akumulace dusíku pomocí depozice v lesních půdách může způsobit změny ve struktuře ekosystému a jeho funkci. Falkengren-Grerup (2004) porovnal dvě oblasti ve Švédsku a vytvořil seznam rostlin, které indikují obsah dusíku v půdě. Jedním z výsledků je graf, který poukazuje na výskyt druhů na modelovém území v závislosti na půdním dusíku (obrázek 5). Z výsledků lze vyčíst, že například kuklík městský (*Geum urbanum*) je více zastoupen na půdách bohatých na dusík. Naopak sedmikvítek evropský (*Trientalis europaea*) je více zastoupený na půdách chudých na dusík.



Obr. 5 – Výskyt vybraných druhů na modelovém území, kde %minNO₃⁻ je uvedeno jako procento mineralizovaného dusíku, druhy: 1. sedmikvítek evropský, 2. bika chlupatá, 3. brusnice brusinka, 4. srha laločnatá, 5. kebrlík lesní, 6. kuklík městský, 7. bršlice kozí noha (Falkengren-Grerup a spol., 2004)

Šarapatka (2014) píše, že obsah celkového dusíku v půdě je poměrně stálý, pohybuje se mezi 0,02 až 0,50 procenta. Nitrofilní společenstva osidlují různé typy čerstvě vlhkých až vlhkých, případně i mírně vysychavých půd bohatých na dusík a fosfor. Jde o stanoviště přirozeného původu, tak o stanoviště vzniklá druhotně činností člověka. Přirozeně tato vegetace osidluje okraje mezofilních lesů a křovin, lesní světliny a plochy po vývratech, paty skal a sutí, okolí stezek a shromaždišť zvěře, břehy vodních toků nebo lemů pobřežních křovin (Ellenberg, 2009). Všechna tato stanoviště se vyznačují

dobrou dostupností živin (Chytrý, 2009). Často jde o antropogenní stanoviště přímo v lidských sídlech a jejich okolí, např. příkopy a meze podél silnic, skládky, zarostlé parky, regulované břehy vodních toků a lemy sekundárních lesních porostů (Chytrý, 2009). Větší rozšíření těchto rostlin bylo zapříčiněno rozmachem užívání umělých hnojiv a zvýšení koncentrací a intenzifikací živočišné výroby, což mělo časem za následek plošnou eutrofizaci. Po úpadu drobného zemědělství zůstaly tyto plochy bez úprav a zarůstaly právě touto vegetací (Chytrý, 2009). Ideálním útočištěm společenstev vyžadujících nadbytek dusíku jsou nevyužité pozemky na periferii měst, místa výsadby nepůvodních listnatých dřevin, mokré úhory, luční lada, neřízené skládky nebo vojenské prostory (Ellenberg, 2009). Pro první společenstvo jsou charakteristické rostliny nacházející se na okrajích rybníků, na obnažených dnech rybníků, v příkopech kde se může nacházet odpadní voda bohatá na živiny, tedy většinou v obcích nebo kolem obcí, které nemají dostatečně zařízenou likvidaci odpadních vod. Také kolem míst, které využívá dobytek k napájení (Ellenberg, 2009). Výběrem:

dvouzubec nicí	<i>Bidens cernua</i>
odemka vodní	<i>Catabrosa aquatica</i>
tajnička rýžovitá	<i>Leersia oryzoides</i>
rdesno peprník	<i>Persicaria hydropiper</i>
rdesno menší	<i>Persicaria minor</i>
pryskyřník lýtý	<i>Ranunculus sceleratus</i>
rukev obojživelná	<i>Rorippa amphibia</i>
šťovík přímořský	<i>Rumex maritimus</i>

Dále Ellenberg (1992) udává, že výše uvedené druhy jsou velmi náročné na světlo a téměř se nevyskytují na místech, kde by mohly být částečně ve stínu. Plošně rozšířenější jsou ale druhy na následujícím seznamu, které se vyskytují na náspech, navážkách, podél komunikací nebo rumišťích, půdy bývají silně dusíkaté (Sýkora, 1959). Ellenberg (1992) tyto druhy považuje za indikátory vlhkých, ale ne zamokřených stanovišť, které mohou být na půdách až extrémně bohatých na dusík a zároveň tyto půdy mají zásaditou půdní reakci.

laskavec ohnutý	<i>Amaranthus retroflexus</i>
pelyněk černobýl	<i>Artemisia vulgaris</i>
lebeda rozkladitá	<i>Atriplex patula</i>

bodlák lopuchovitý	<i>Carduus personata</i>
pcháč bělohlavý	<i>Cirsium eriophorum</i>
štetka planá	<i>Dipsacus fullonum</i>
přeslička rolní	<i>Equisetum arvense</i>
blín černý	<i>Hyoscyamus niger</i>
merlík bílý	<i>Chenopodium album</i>
podběl lékařský	<i>Tussilago farfara</i>
kopřiva dvoudomá	<i>Urtica dioica</i>
kopřiva žahavá	<i>Urtica urens</i>

Ellenberg (1992) má druhy na obou následujících seznamech spojené s průměrně až nadprůměrně úrodnými stanovišti a zároveň pro tyto druhy uvádí rozmanité vlastnosti pro půdní reakci, vlhkost a náročnost na světlo. Z dřevin a křovin typických pro nové náspy můžeme vybrat například tyto druhy (Sýkora, 1959):

kustovnice cizí	<i>Lycium barbarum</i>
ostružník	<i>Rubus sp.</i>
bez černý	<i>Sambucus nigra</i>

Kustovnice cizí je v ČR nepůvodní druh a v současnosti se jedná o invazivní druh, které proniká i do přirozených společenstev. Na starších stanovištích se začínají objevovat tyto dřeviny (Sýkora, 1959):

javor	<i>Acer sp.</i>
bříza bělokorá	<i>Betula pendula</i>
jasan ztepilý	<i>Fraxinus excelsior</i>
topol osika	<i>Populus tremula</i>
lípa srdčitá	<i>Tilia cordata</i>

Níže uvedené druhy mohou růst i na člověkem ovlivněných místech a často se tak děje (Sýkora, 1959). Ellenberg (1992) níže zmíněné rostliny klasifikuje jako indikátory velmi úrodných až na dusík extrémně bohatých půd, které jsou typické pro místa výskytu dobytka. Pro přirozený výskyt nitrofilních rostlin, jsou typické tyto druhy:

bršlice kozí noha	<i>Aegopodium podagraria</i>
česnáček lékařský	<i>Alliaria petiolata</i>
kerblík lesní	<i>Anthriscus sylvestris</i>
svízel přítula	<i>Galium aparine</i>
kakost smrdutý	<i>Geranium robertianum</i>

kuklík městský	<i>Geum urbanum</i>
krabilice mámivá	<i>Chaerophyllum temulum</i>
vlaštovičník větší	<i>Chelidonium majus</i>
netýkavka nedůtklivá	<i>Impatiens noli-tangere</i>
netýkavka malokvětá	<i>Impatiens parviflora</i>

2.1.4. Indikace hadců

Hadce ovlivňují složení rostlinných společenstev všude, kde se vyskytují. Jedná se o přeměněné ultrabazické horniny, po chemické stránce tvořené především hydratovaným křemičitanem železnohořečnatým ($\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Hadcové půdy mají vysoký obsah hořčíku. Vysoce zastoupený hořčík snižuje dostupnost vápníku (Kolář a spol., 2008). Kolář (2008) říká: „V této charakteristice je rozdíl hadcových půd oproti většině ostatních substrátů opravdu značný – zatímco u normálních půd převládá vápník nad hořčíkem, na hadcích je poměr $\text{Ca}:\text{Mg}$ iontů hluboko pod 1 (často nižší než 0,4)“. Velmi často jsou nedostupné i prvky jako je N, K, P. I to může ukazovat, jak jsou tyto substráty živinově chudé. Pro jejich chemismu je typický obsah některých kovů, jako je Ni, Cr nebo Co. Fyzikální vlastnosti také nejsou příznivé. V hadcovém terénu půda poměrně dobře eroduje a dochází k odnosu již tak vzácných živin (Kolář a spol., 2008). Mělká, skeletovitá půda snadno propouští vodu, což se projevuje suchem. Povrch hadců je tmavý a samotná hornina je špatně tepelně vodivá, v průběhu dne může povrchová teplota půdy a skal velmi kolísat. Spíše než o vlivu jediného faktoru je dobré mluvit o hadcovém fenoménu, který se projevuje nápadně odlišnou vegetací od okolních nehadcových hornin. Očividně se jedná o velmi nepříznivé prostředí pro růst rostlin, i přes to zde ale najdeme druhy, které si vytvořily hadcovou toleranci. Je pravděpodobné, že druhy si dokáží hlídat přísun hořečnatých iontů (buď přijímají méně hořčíku, nebo se ho dobře zbavují) a výběrově přijímají více vápníku (Kolář a spol., 2008).

U rostlin se může projevit serpentinomorfóza. To je jakási odchylka tvarů rostlinného organismu, může se jednat o menší vzrůst (nanismus), vyvinutější kořenový systém nebo suchomilné prvky u listů (například tužší, menší, ochlupenější) (Kolář a spol., 2008). Něco může být považováno pouze za adaptace a u některých rostlin jako důsledek působení sucha nebo nedostatku živin (Kolář a spol., 2008). Nanismus může být i následkem trade-off principu, kdy rostlina investuje do rozvoje

kořenů a už jí nezbude dostatek živin pro růst nadzemní části. Lze poznamenat, že není serpentiofyt, který by nebylo možno pěstovat na nehadcové půdě (Kolář a spol., 2008). Na hadcích rostou rostliny, které z nějakého důvodu upřednostňují toto prostředí. Může se jednat o vliv konkurence, díky tomu, že stresující podmínky v hadcovém prostředí snižují míru konkurence. Většina druhů je na našem území endemických. Druhy, které najdeme v hadcovém prostředí:

sleziník nepravý	<i>Asplenium adulterinum</i>
sleziník hadcový	<i>Asplenium cuneifolium</i>
trávníčka obecná hadcová	<i>Armeria vulgaris subsp. serpentinei</i>
rožec kuřičkolistý	<i>Cerastium alsinifolium</i>
hvozdík kartouzek hadcový	<i>Dianthus carthusianorum</i>
chrastavec rolní hadcový	<i>Knautia arvensis subsp. serpentinicola</i>
kuřička Smejkalova	<i>Minuartia smejkalii</i>
pomněnka úzkolistá	<i>Myosotis stenophylla</i>
podmrvka hadcová	<i>Notholaena marantae</i>
borovice lesní	<i>Pinus sylvestris</i>
mochna Crantzova hadcová	<i>Potentilla serpentinei</i>

2.1.5. Indikace skalních štěrbin

Bezprostřední vazbu na geologický substrát mají rostliny, které rostou na skalách, ty se nazývají petrofyty. Druhem petrofytů jsou rostliny, které koření ve skalních štěrbinách (chasmofyty). Rostliny jsou v takovém případě přímo ovlivňovány chemickým složením horniny. Na vápencích se tvoří druhově specifická chasmoofilní společenstva, která se druhově liší od chasmoofilních společenstev na silikátové hornině (Slavíková, 1982).

Rostliny uvedené na následujícím seznamu rostou na skalách a drovinách na vápenci. K lokálnímu vývoji stačí i vápnité horninové vložky či inkrustace. Častý je sekundární výskyt na zdech a také v lomech, kde se tyto porosty objevují nejdříve několik desetiletí po jejich opuštění (Chytrý a spol., 2001). Na vápencových podkladech se nachází tyto druhy:

sleziník routička	<i>Asplenium ruta-muraria</i>
sleziník červený	<i>Asplenium trichomanes</i>
sleziník zelený	<i>Asplenium viride</i>
řeřišničník písečný	<i>Cardaminopsis arenosa</i>
ostřice prstnatá	<i>Carex digitata</i>

vlaštovičník větší	<i>Chelidonium majus</i>
mokřýš střídavolistý	<i>Chrysosplenium alternifolium</i>
kruhatka Matthiolova	<i>Cortusa matthioli</i>
puchýřník křehký	<i>Cystopteris fragilis</i>
kapraď samec	<i>Dryopteris filix-mas</i>
vrbovka horská	<i>Epilobium montanum</i>
kakost smrdutý	<i>Geranium robertianum</i>
bukovník vápencový	<i>Gymnocarpium robertianum</i>
břečťan popínavý	<i>Hedera helix</i>
jelení jazyk celolistý	<i>Phyllitis scolopendrium</i>
mázdřinec rakouský	<i>Pleurospermum austriacum</i>
lipnice hajní	<i>Poa nemoralis</i>
osladič obecný	<i>Polypodium vulgare s. lat.</i>
kapradina laločnatá	<i>Polystichum aculeatum</i>
kapradina hrálovitá	<i>Polystichum lonchitis</i>
rybíz alpský	<i>Ribes alpinum</i>
lomikámen vždyživý	<i>Saxifraga paniculata</i>
lomikámen trsnatý	<i>Saxifraga rosacea</i>
rozchodník bílý	<i>Sedum album</i>
pěchava vápnomilná	<i>Sesleria albicans</i>

Níže uvedené rostliny najdeme na skalních stěnách a balvanitých rozpadech. Vzácněji se může tato vegetace vyskytovat v opuštěných lomech a starých zdech, kde však zpravidla chybí mnoho druhů. Podkladem je nejčastěji žula, znělec, čedič a další (Chytrý a spol., 2001). Na silikátových podkladech se nachází tyto druhy:

česnek pažitka horská	<i>Allium schoenoprasum subsp. alpinum</i>
sleziník netíkovitý	<i>Asplenium adiantum-nigrum</i>
sleziník nepravý	<i>Asplenium adulterinum</i>
sleziník hadcový	<i>Asplenium cuneifolium</i>
sleziník severní	<i>Asplenium septentrionale</i>
sleziník červený	<i>Asplenium trichomanes</i>
hvězdnice alpská	<i>Aster alpinus</i>
papratka samičí	<i>Athyrium filix-femina</i>
tařice skalní	<i>Aurinia saxatilis</i>
metlička křivolaká	<i>Avenella flexuosa</i>
dvojštítek hladkoplodý proměnlivý	<i>Biscutella laevigata subsp. varia</i>
třtina rákosovitá	<i>Calamagrostis arundinacea</i>
vřes obecný	<i>Calluna vulgaris</i>
zvonek okrouhlolistý	<i>Campanula rotundifolia s. lat.</i>
řeřišničník písečný	<i>Cardaminopsis arenosa</i>
kyvor lékařský	<i>Ceterach officinarum</i>

puchýřník křehký	<i>Cystopteris fragilis</i>
hvozdík sivý	<i>Dianthus gratianopolitanus</i>
kapraď rozložená	<i>Dryopteris dilatata</i>
kapraď samec	<i>Dryopteris filix-mas</i>
kostřava ovčí	<i>Festuca ovina</i>
kostřava sivá	<i>Festuca pallens</i>
kakost smrdutý	<i>Geranium robertianum</i>
bukovník kapraďovitý	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>
jestřábník bledý	<i>Hieracium schmidtii</i>
vraneč jedlový	<i>Huperzia selago</i>
rozchodník velký	<i>Hylotelephium maximum</i>
kosatec bezlistý	<i>Iris aphylla</i>
podmrsvka hadcová	<i>Notholaena marantae</i>
bukovinec osladičovitý	<i>Phegopteris connectilis</i>
osladič obecný	<i>Polypodium vulgare</i>
lomikámen trsnatý	<i>Saxifraga rosacea</i>
violka trojbarevná skalní	<i>Viola tricolor subsp. saxatilis</i>
kapradinka skalní	<i>Woodsia ilvensis</i>

2.1.6. Indikace těžkých kovů

Těžké kovy se vyskytují přirozeně v půdách ve stopovém množství, mezi těžké kovy patří například kadmium, kobalt, stříbro, měď, olovo a další. Druhy, které tyto kovy dokáží tolerovat, nazýváme metalofyty. Rostliny v oblastech zamořených těžkými kovy vykazují specifické vlastnosti. Většinou tyto prvky způsobují rostlinám stres. Výsledkem bývají změny ve stavbě rostlin. Těžké kovy mohou být přijímány kořeny i jinými částmi rostliny, například listy. Na našem území nejsou žádné rostliny, které by přímo indikovaly těžké kovy. Ale například v USA se používá *Eriogonum ovafolium* k indikaci přítomnosti stříbra (Kershaw, 2001). Hansen a spol. (1984) píše, že v Norsku, v oblastech bohatých na měď nalezneme kohoutek (*Viscaria alpina*). Pouze v Demokratické republice Kongo například roste *Silene cobalticola*, která se nachází na půdách bohatých na měď a kobalt. Tato rostlina se nachází na oblasti velké pouze 0,2 km² (Meerssemena a spol., 2014). Ve Švédsku roste *Lychnis alpina* na půdách bohatých na nikl (Lepp, 1981). *Neptunia amplexicaulis* je druh, který roste v Austrálii v oblastech bohatých na selen (Peterson, 1967). Obecně se nadměrný výskyt těžkých kovů projevuje v rostlinách chlorózou (blednička, nápadné zbarvení listů), srolováním listů a zakrslým růstem. U rostlin poškozených těžkými kovy dochází k narušení vodní rovnováhy (Sanità di Toppi a Gabrielli, 1999). Výše uvedené druhy dokáží nadměrně

akumulovat těžké kovy, ale i tyto rostliny nedokáží odolávat těžkým kovům věčně. Pokud dojde k překročení hranice jejich tolerance, začnou mít i na tyto rostliny toxický vliv.

2.2. Indikace fyzikálních vlastností

2.2.1. Indikace vláhových poměrů

2.2.1.1. Půdy suché

Dostupnost vody v půdě je primární podmínkou určující strukturu společenstev (Jeník, 1972). Jsou místa, kde je vody nedostatek nebo substrát není dostatečně vododržný. Na takovýchto místech se rostliny musely přizpůsobit, aby mohly přežít. Slavíková (1982) uvádí tato uzpůsobení rostlin:

- Zvětšení kořenového systému, který je buďto povrchový a plošně rozsáhlý, nebo naopak velmi hluboký (některé pouštní rostliny i 10 m)
- Snížení minimálního vodního potenciálu kořenů a tím zvýšení „sivé síly“
- Modifikace listů jako silná kutikula, vosková vrstva, malé průduchy kryté vrstvou chlupů
- Snížení plochy transpirujících orgánů, stáčení listů, bezlisté typy rostlin
- Vzdělání poměru podzemní biomasy k nadzemní, který bývá větší než 1
- Přetrvávání období sucha v dormantním stavu například ve formě semen, v podzemních orgánech nebo v bezlistém stavu
- Zásobní pletiva s vodou – zásoba vody v kmeni nebo kořenech

Nedostatek vody má vliv i na vzhled rostlin, kdy zelenou barvu si rostliny udržují pouze v době vegetační periody, která je na suchých půdách velmi krátká (Sýkora, 1959), jinak mají barvu nažloutlou, která bývá důsledkem nedostatku dusíku (Ellenberg, 2009). Suché půdy mohou být vápnité i silikátové, na substrátech obohacených o karbonátové sloučeniny bývají společenstva bohatší na druhy u skupiny druhé (Ellenberg, 2009). Typický pro suchá stanoviště je tento vývojový sled. Na jaře, kdy se země začíná prohřívat a je stále vlhká začínají růst jako první terofyty (jednoleté rostliny), ty rostou velmi krátce a rychle umírají. Byliny kvetou dříve, než dojde k olistění stromů (Ellenberg, 2009). Na konci léta dochází k vadnutí a usychání rostlin. Hemikryptofyty v této době strádají živiny v oblasti pupenů a geofyty strádají živiny

v podzemních orgánech, aby příští jaro mohly znovu růst (Ellenberg, 2009). Na podzim některá společenstva vykvetou znovu, ale před zimou uhynou kompletně.

Na následujícím seznamu jsou druhy, které rostou na půdách různě hlubokých, od mělkých půd typu rendzina a ranker po hluboké půdy, kde půdotvorný substrát jsou spraše, někdy i čediče, amfibolity a hadce. Většinou jde o sekundární vegetaci vyvinutou na místech původních teplomilných doubrav (Chytrý a spol, 2001). V Ellenbergových (1992) tabulkách jsou tyto druhy indikátory suchých, prosvětlených, zásaditých a spíše neúrodných stanovišť. Rostliny, které preferují suchá stanoviště, jsou výběrem:

pamětník rolní	<i>Acinos arvensis</i>
tařinka kališní	<i>Alyssum alyssoides</i>
mařinka psí	<i>Asperula cynanchica</i>
hvězdnice zlatovlásek	<i>Aster linosyris</i>
chrpa čekánek	<i>Centaurea scabiosa</i>
trýzel vonný	<i>Erysimum odoratum</i>
prýšec chvojka	<i>Euphorbia cyparissias</i>
locika vytrvalá	<i>Lactuca perennis</i>
jehlice trnitá	<i>Ononis spinosa</i>
čistec přímý	<i>Stachys recta</i>
kavyl sličný	<i>Stipa pulcherrima</i>
mateřídouška časná	<i>Thymus praecox</i>
rozrazil klasnatý	<i>Veronica spicata</i>

Na písčitých půdách, které jsou chudé na živiny je dominantní borovice lesní (*Pinus sylvestris*), díky ní vzniká surový humus (mor), to má za následek přirozenou podzolizaci. Čisté porosty borovice jsou pouze na větrem nafoukaných píscích. Na písčitých půdách, kde je podzemní voda mimo dosah kořenů, roste společně borovice s dubem zimním (*Quercus petraea*). Čím větší je podíl křemičitanů v půdě, tím větší podíl mají duby (Ellenberg, 2009). Pokud kořeny dosahují k hladině podzemní vody, pak je dominance dubu ještě větší, a to i na půdách chudých na křemičitany. Zajímavostí může být výskyt borovic na hadcích, na kterých se borovice dokázaly přizpůsobit specifickým podmínkám, jiné dřeviny zde mají zakrnělou formu, jelikož je pro ně hornina toxická.

Rostliny uvedené na dalším seznamu jsou typické pro bylinné patro převážně slunných lokalit, které se mohou nacházet jak na minerálně chudých, tak i bohatých substrátech.

Jedná se o kamenité, vysychavé a obvykle mělké půdy (Chytrý a spol, 2001). Další rostliny, které jsou schopné růst na půdách suchých:

sasanka lesní	<i>Anemone sylvestris</i>
hvězdnice zlatovlásek	<i>Aster linosyris</i>
metlička křivolaká	<i>Avenella flexuosa</i>
vřes obecný	<i>Calluna vulgaris</i>
hadinec obecný	<i>Echium vulgare</i>
kostřava ovčí	<i>Festuca ovina</i>
kručinka chlupatá	<i>Genista pilosa</i>
kručinka barvířská	<i>Genista tinctoria</i>
len žlutý	<i>Linum flavum</i>
bika hajní pravá	<i>Luzula luzuloides subsp. luzuloides</i>
černýš luční	<i>Melampyrum pratense</i>
komonice bílá	<i>Melilotus alba</i>
prvosenka jarní	<i>Primula veris</i>
pěchava vápnomilná	<i>Sesleria caerulea</i>
brusnice borůvka	<i>Vaccinium myrtillus</i>
brusnice brusinka	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>
rozrazil lékařský	<i>Veronica officinalis</i>

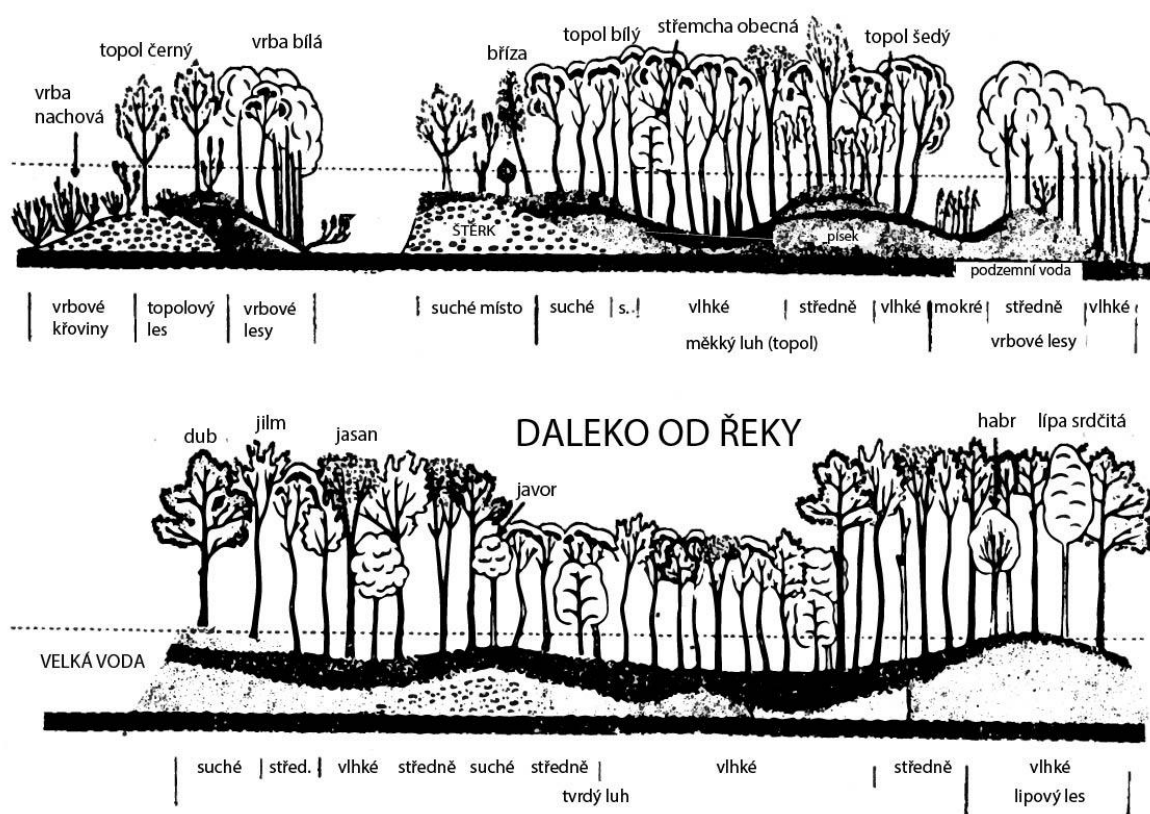
Již dříve bylo zmíněno, že rostliny mohou mít poměr podzemní části k nadzemní větší než jedna. Toho je příkladem komonice bílá (*Melilotus alba*), která dosahuje výšky až 1,5 m a její kořenový systém může dosahovat hloubky až 2 m. Podobně je na tom hadinec obecný (*Echium vulgare*), který můžeme najít na suchých a na dusičnany chudých stanovištích. Ellenberg (1992) druhy z předchozího seznamu klasifikuje jako indikátory stanovišť, která jsou na živiny velmi chudá, spíše prosvětlená a s různou půdní reakcí.

Významný druhem suchých písčitých půd je paličkovec šedavý (*Corynephorus canescens*) rostoucí na trávnicích písčín a na okrajích písčitých borů. Dokáže se uchytit na obnaženém písku, který není příliš ovlivněn deflací. Rostlina má rozsáhlý kořenový systém kvůli příjmu živin, a aby byla dobře uchycena v zemi. Pokud paličkovec pokryje významně plochu půdy, mohou se uchytit i další rostliny, které by jinak na stanovišti být nemohly kvůli odnosu písku větrem. Stanoviště, kde roste paličkovec mají pH mezi 3,2 a 4,6 a jsou velmi chudé na živiny a zároveň rychle vysychají (Ellenberg, 2009).

2.2.1.2. *Půdy vlhké*

Voda, je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících růst rostlin, zároveň voda nosí rostlinám živiny a je potřebná k fotosyntéze. Pokud se podmínky půdní a světelné nemění, zobrazí se každá změna vláhý nejen ve složení porostu, ale i v nápadné změně vitality rostlin (Sýkora, 1959). Většina vlhkomilných druhů se nalézají v říčních nivách. Rostliny v tomto prostředí jsou závislé na občasném zaplavení a zároveň uzpůsobené tak, aby tuto událost přežily. Adaptace na mokré prostředí může spočívat v anatomických rysech dovolujících transportování kyslíku ke kořenům, schopnost tolerovat nebo vylučovat půdní toxiny jako dvojmocné Fe nebo jejich biochemické vlastnosti dovolují získat energii v anaerobním prostředí kořenů (Jeník, 1972). Některá stanoviště mohou vyschnout, rostliny pak musí přežít periody sucha, ať už pomocí rozsáhlého kořenového systému nebo snížením transpirace. Období sucha mohou zapříčinit více škod, než občasné záplavy (Ellenberg, 2009). Tyto nepříznivé podmínky jsou do určité míry kompenzovány výjimečně úrodnou půdou. Každá záplava má za následek přísun živin. Čím je průměrná hladina podzemní vody hlouběji, tím méně jsou rostlinná společenstva ohrožena záplavami, ale zároveň mají snížený přísun živin (Ellenberg, 2009). Pro říční nivy je typický sled vegetace, který vypadá takto: blíže ke zdroji vody jsou dřeviny, které snesou delší dobu zavodnění (například vrba nachová, topol bílý), dále od řeky jsou naopak dřeviny, kde se voda po záplavě nedrží tak dlouho (například lípa srdčitá) (Ellenberg, 2009). Takovou zonaci vegetace v závislosti na hydrických podmínkách ukazuje obrázek 6.

BLÍZKO ŘEKY



Obr. 6 – Postupný sled vegetace na říční nivě (Ellenberg, 2009)

2.2.2. Indikace podzemní vody

Na jedné straně jsou rostliny, které jsou přizpůsobeny extrémnímu hospodaření s vodou, což je spojeno s obdobím dešťů, které se vyskytuje v dlouhých intervalech. Tomu následuje dlouhá perioda sucha, kdy rostliny zůstávají téměř v dormantním stavu. Tyto rostliny se nazývají xerofyty. Na straně druhé jsou druhy, kterým dosahují kořeny až na hladinu podzemní vody a díky tomu mají stálý přísun vody. Tyto rostliny jsou nazývány jako freatofyty. Taková rostlina je přírodní studnou s vlastní vodní pumpou beroucí vodu z pásma saturace (Meizner, 1927).

Již Plinius (1634) napsal, že vrby, topoly, olše, rákos, máta, mochna, popenec ukazují, že voda se zde nevyskytuje hluboko. Cannon (1914) říká, že existuje blízký vztah, mezi výskytem stromů s určitým charakterem kořenů a výskytem podzemní vody. Takové stromy se vyskytují blízko tekoucích vod, kdežto na blízkých vyvýšeninách nejsou žádné stromy. Vlhkost vzduchu, srážky a teplota je v těchto

oblastech shodná. To naznačuje, že v níže položené oblasti je voda v lepším dosahu pro kořeny, kdežto ve vyšší oblasti je již hladina vody daleko pod úrovní kořenů.

Některé druhy sítin (*Juncus*), skřípín (*Scirpus*) a orobince (*Typha*) převážně rostou na okrajích pereniálních povrchových vod, kolem jezírek a pramenů. Obecně, ale ne vždy, jejich výskyt znamená, že voda není znečištěná (Ellenberg, 2009). Výše uvedené druhy ale rostou blízko povrchové vody, a tedy využití jejich indikace pro vodu je minimální. Dalším druhem, který se vyskytuje u povrchové vody, je rákos obecný (*Phragmites australis*) (Meizner, 1927). Druh, který spolehlivě ukazuje na přítomnost podzemní vody je trst obecná (*Arundo donax*) (Ellenberg, 2009). Pýrovník psí (*Elymus caninus*) ukazuje na mělkou hladinu podzemní vody, vyskytuje se ve stinném, lužním lese (Ellenberg, 2009). Ostřice Grayova (*Carex grayi*) roste ve vlhkých, listnatých lesích v blízkosti močálů, upřednostňuje nivní půdy (Goslee a spol., 1997). Svída výběžkatá (*Cornus sericea*) roste v lužních lesích a křovinách, kde je dostatek vody. Pupalka dvouletá (*Oenothera biennis*) se nachází na místech náplav větších vodních toků. Zde je ale poměrně vzácná, kvůli regulaci říčních toků. Dnes ji spíše najdeme na synantropních stanovištích. Ostružiník (*Rubus trivialis*) vyhledává vlhká stanoviště, mokřiny. Kapradiník bažinný (*Thelypteris palustris*) najdeme na bažinných stanovištích, v olšinách či vrbových porostech. Výskyt tsugy kanadské (*Tsuga canadensis*) je vázaný na vlhká údolí s kyselými až neutrálními půdami. Na nevysychavých místech můžeme najít brusnici borůvku (*Vaccinium myrtillus*) (Meinzer, 1927).

Rostliny vyskytující se v oblasti podzemních vod mají poměrně stálý přísun vody, kdežto následující kategorie může mít velké sezónní výkyvy v hladině vody. Přítomnost výše uvedených druhů může pomoci rozlišit, zdali je oblast zásobována podzemním nebo povrchovým zdrojem.

2.2.3. Indikace povrchových vod

Mnoho faktorů může ovlivňovat výskyt rostlin. Přítomnost vodního zdroje má ale velký vliv. Oblasti, kde je hlavním zdrojem podzemní voda jsou více stíněné než oblasti s výskytem povrchových vod (Goslee a spol., 1997).

Níže uvedené rostliny rostou na záplavových březích bystřin s prudce tekoucí vodou v horských polohách, zřídka v chladných podhorských údolích na slabě vyvinutých

lužních půdách (Chytrý a spol., 2001). Dle Ellenberga (1992) tyto druhy indikují vlhká, ale na zamokřená, spíše úrodná stanoviště s různou půdní reakcí. První společenstvo je charakteristické těmito druhy:

bršlice kozí noha	<i>Aegopodium podagraria</i>
kostřava obrovská	<i>Festuca gigantea</i>
krabilice chlupatá	<i>Chaerophyllum hirstum</i>
netýkavka nedůtklivá	<i>Impatiens noli-tangere</i>
šťavel kyselý	<i>Oxalis acetosella</i>
pryskyřník platanolistý	<i>Ranunculus platanifolius</i>
šťovík áronolistý	<i>Rumex alpestris</i>
starček vejčitý	<i>Senecio ovatus</i>
ptačinec hajní	<i>Stellaria nemorum</i>

Následující seznam uvádí druhy, které rostou na březích vodních toků, kde hladina podzemní vody je v malé hloubce a dočasně vystupuje na povrch. Půdy jsou vlhké až mokré, gleje, s širokým rozpětím půdní reakce a dostatečnou zásobou živin, nacházejí se od nížin do hor (Chytrý a spol., 2001). Typické jsou tyto druhy:

blatouch bahenní	<i>Caltha palustris</i>
čarovník alpský	<i>Circaea alpina</i>
metlice trsnatá	<i>Deschampsia cespitosa</i>
kostřava obrovská	<i>Festuca gigantea</i>
svízel přitula	<i>Galium aparine</i>
popenec obecný	<i>Glechoma hederacea</i>
mokřýš střídavolistý	<i>Chrysosplenium alternifolium</i>
netýkavka nedůtklivá	<i>Impatiens noli-tangere</i>
pryskyřník plazivý	<i>Ranunculus repens</i>
čistec lesní	<i>Stachys sylvatica</i>
ptačinec hajní	<i>Stellaria nemorum</i>
kopřiva dvoudomá	<i>Urtica dioica</i>

Například svízel přitula indikuje půdy zásadité, velmi bohaté na dusík a velmi vlhké, kdežto blatouch bahenní je indikátorem půd spíše chudých na dusík, spíše neutrálních a zamokřených (Ellenberg, 1992).

Níže uvedené rostliny najdeme na nivách dolních toků velkých řek v teplých a suchých oblastech. Půdy na těchto lokalitách jsou hlinité až jílovité, oglejené, místy glejové,

místy zasolené a dobře zásobené živinami (Chytrý a spol., 2001). Společenstvo vyskytující se v blízkosti povrchových vod:

česnek hranatý	<i>Allium angulosum</i>
konitrud lékařský	<i>Gratiola officinalis</i>
oman britský	<i>Inula britannica</i>
kosatec sibiřská	<i>Iris sibirica</i>
štírovník tenkolistý	<i>Lous glaber</i>
kohoutek luční	<i>Lychnis flos-cuculi</i>
vrbina penízková	<i>Lysimachia nummularia</i>
kyprej prutnatý	<i>Lythrum virgatum</i>
pryskyřník plazivý	<i>Ranunculus repens</i>
ožanka čpavá	<i>Teucrium scordium</i>
violka nízká	<i>Viola pumila</i>
violka slatinná	<i>Viola stagnina</i>

Dřeviny a křoviny rostoucí na půdách vlhkých až zamokřených, většinou se jedná o těžší půdy, které mají nižší obsah skeletu, jsou příkladem tyto druhy (Sýkora, 1959):

javor mléč	<i>Acer platanoides</i>
javor klen	<i>Acer pseudoplatanus</i>
olše lepkavá	<i>Alnus glutinosa</i>
olše šedá	<i>Alnus incana</i>
jasan ztepilý	<i>Fraxinus excelsior</i>
topol bílý	<i>Populus alba</i>
topol černý	<i>Populus nigra</i>
střemcha obecná	<i>Prunus padus</i>
vrba bílá	<i>Salix alba</i>
vrba křehká	<i>Salix fragilis</i>
vrba nachová	<i>Salix purpurea</i>
bez černý	<i>Sambucus nigra</i>
bez hroznatý	<i>Sambucus racemosa</i>
lípa srdčitá	<i>Tilia cordata</i>
jilm vaz	<i>Ulmus laevis</i>
jilm habrolistý	<i>Ulmus minor</i>

Na následujícím seznamu jsou rostliny, které spolehlivě ukazují na přítomnost povrchových vod. Jedná se o vody, které se zde nevyskytují trvale celoročně, jsou pouze občasné (Goslee a spol., 1997). Další společenstvo zahrnuje tyto druhy:

glejovka hedvábná	<i>Asclepias syriaca</i>
popenec obecný	<i>Glechoma hederacea</i>
loubinec pětistý	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>
pastinák setý	<i>Pastinaca sativa</i>
bojínek luční	<i>Phleum pratense</i>
lipnice luční	<i>Poa pratensis</i>
rybíz skalní	<i>Ribes petraeum</i>
růže mnohokvětá	<i>Rosa multiflora</i>
šťovík kadeřavý	<i>Rumex crispus</i>
lilek potměchuť	<i>Solanum dulcamara</i>
pampeliška lékařská	<i>Taraxacum officinale</i>
jedovatec kořenující	<i>Toxicodendron radicans</i>
kopřiva dvoudomá	<i>Urtica dioica</i>
réva pobřežní	<i>Vitis riparia</i>

Další seznam rostlin lze použít k negativní indikaci podzemní vody, jelikož jsou spojeny pouze s výskytem vody povrchové (Goslee a spol., 1997). Ellenberg (1992) tyto druhy popisuje jako indikátory zamokřených půd. Negativními fytoindikátory podzemní vody jsou:

přeslička rolní	<i>Equisetum arvense</i>
sadec prorostlý	<i>Eupatorium perfoliatum</i>
zlatobýl trávolistý	<i>Euthamia graminifolia</i>
zblochan vodní	<i>Glyceria aquatica</i>
netýkavka žláznatá	<i>Impatiens grandulifera</i>
máta rolní	<i>Mentha arvensis</i>
chrastice rákosovitá	<i>Phalaris arundinacea</i>
zlatobýl kanadský	<i>Solidago canadensis</i>

Další zajímavostí může být hodnocení znečištění vod. Kde například mnohé druhy hvězdoše (*Callitriche*) jsou schopny odolávat znečištění odpadními vodami (Ellenberg, 2009). Většinou bývají posledními z rostlin, které zůstávají na dni řečišť nebo na dně rybníků, velmi často jsou i ponořené až metr pod vodou. Ve stojatých vodách je dobrým indikátorem okřehek hrbatý (*Lemna gibba*), vyskytující se hlavně v extrémně eutrofních vodách bohatých na soli. V eutrofních a hypertrofních vodách je nejčastěji okřehek menší (*Lemna minor*) (Ellenberg, 2009).

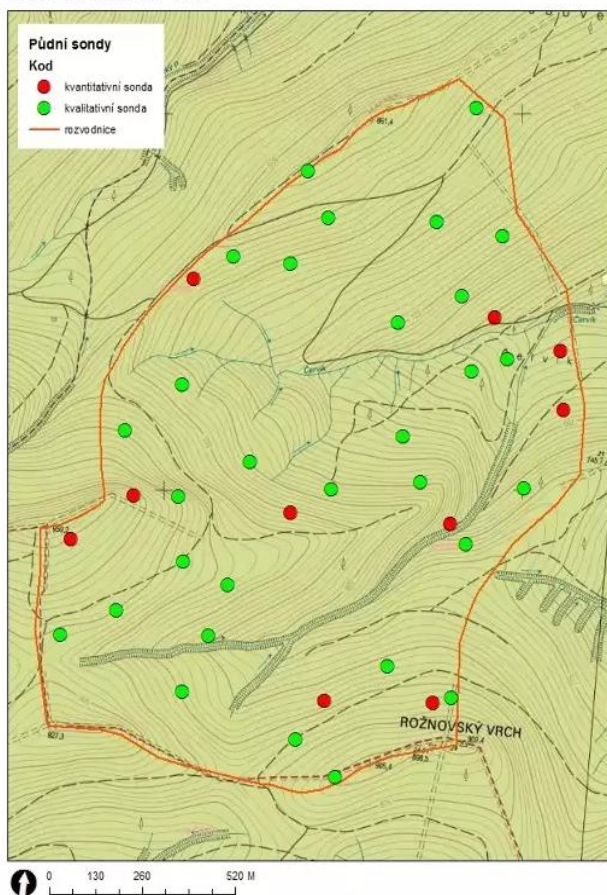
3. Materiály, metodika a výsledky

Pro vyhodnocení indikačních vlastností rostlin byla použita data z vybraných povodí sítě GEOMON České geologické služby. Data zahrnují vybrané půdní vlastnosti a fytocenologická data ze dvou malých povodí, Červíku a Uhlířské. První je povodí vodního toku Červík v Beskydech a druhé je povodí vodního toku Černá Nisa v Jizerských horách (obrázek 7). V obou uvedených povodích byly odebrány půdní vzorky vždy z deseti kopaných kvantitativních sond o ploše 0,5 m² z nadložního humusu a z arbitrárně vymezených hloubek půdy: 0-10, 10-20, 20-40, 40-80 cm. U těchto deseti sond na každém povodí bylo zároveň provedeno fytocenologické snímkování. Fytocenologické snímky byly pořízeny na osmi subplochách, rozmístěných v ploše 400 m² se středem v místě kopané sondy. Použitá data chemismu půd obsahovala údaje o množství uhlíku a dusíku a o aktivní půdní reakci (pH/H₂O) a výměnné půdní reakci (pH/KCl). K jednotlivým druhům zaznamenaným ve fytocenologických snímcích byly přiřazeny Ellenbergovy indikační hodnoty (EIH), které byly publikovány Ellenbergem (1992). Indikační hodnota za fytocenologický snímek byla vypočtena jako pokryvností vážený průměr hodnot jednotlivých druhů. Dále byl vypočten poměr C/N a z databáze půdního chemismu vyjádřeno pH pro nadložní humus (v tabulce označeno jako O) a pro hloubku 0-20 cm (v tabulce označeno 0-20). Následně došlo k porovnání pH s EIH pro půdní reakci a porovnání koncentrace dusíku s indikačními hodnotami pro půdní dusík. Výsledky práce jsou uvedeny v tabulkách 3 a 4 a znázorněny v grafech. Tabulky zobrazují vypočítané EIH pro jednotlivé půdní sondy. Pro vyhodnocení vlastností stanoviště byly použity EIH tak, jak jsou uvedené v legendě v publikaci od Ellenberga (1992):

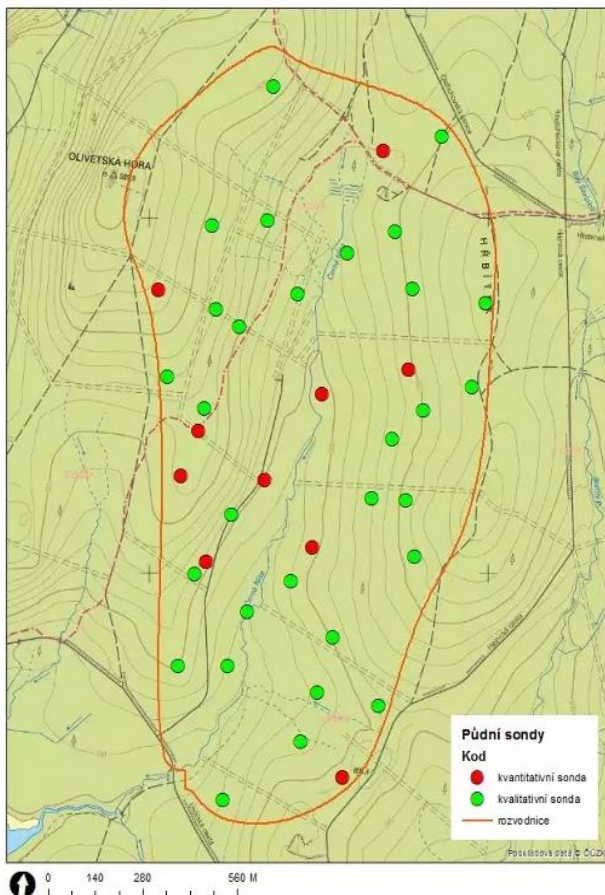
- L – vztah ke světlu: 3 – sciofyt, 4 – mezi 3 a 5, 5 – hemisciofyt (dostávají více než 10%, ale většinou méně než 100 % plného denního světla)
- T – vztah k teplotě: 3 – převážně chladných polohách, 4 – mezi 3 a 5, intermediální stanoviště
- K – vztah ke kontinentalitě: 4 – suboceanický, 5 – intermediální, 6 – subkontinentální
- F – vztah k vlhkosti: 5 – na čerstvých půdách, 6 – mezi 5 a 7, 7 – na vlhkých půdách, které nevysychají
- R – reakce půdní: 1 – druhy rostoucí na silně kyselých půdách, 2 – mezi 1 a 3, 3 – druhy rostoucí na kyselých půdách

- N – vztah k půdnímu dusíku: 1 – druhy s těžištěm výskytu na půdách velmi chudých na dusík, 2 – mezi 1 a 3, 3 – druhy s těžištěm výskytu na půdách chudých na dusík, 4 – mezi 3 a 5, 5 – druhy s těžištěm výskytu na půdách středně bohatých dusíkem

Povodí síť GEOMON - CER



Povodí síť GEOMON - UHL



Obr. 7 – Vybraná povodí projektu GEOMON Červík (CER) a Uhlířská (UHL)

Zdroj: ČGS

3.1. Výsledky

Seznam druhů na povodích

Na vybraných povodích se vyskytovalo celkem 42 druhů, jednotlivé rostliny jsou uvedené na následujícím seznamu:

javor klen	<i>Acer pseudoplatanus</i>
psineček obecný	<i>Agrostis capillaris</i>
paprátka samičí	<i>Athyrium filix-femina</i>
metlička křivolaká	<i>Avenella flexuosa</i>
bříza bělokorá	<i>Betula pendula</i>
žebrovice různolistá	<i>Blechnum spicant</i>
třtina rákosovitá	<i>Calamagrostis arundinacea</i>
třtina chloupkatá	<i>Calamagrostis villosa</i>
ostřice šedavá	<i>Carex canescens</i>
ostřice ježatá	<i>Carex echinata</i>
ostřice zaječí	<i>Carex leporina</i>
ostřice obecná	<i>Carex nigra</i>
ostřice kulonosná	<i>Carex pilulifera</i>
metlice trsnatá	<i>Deschampsia cespitosa</i>
kapraď rozložená	<i>Dryopteris dilatata</i>
kapraď samec	<i>Dryopteris filix-mas</i>
suchopýr pochvatý	<i>Eriophorum vaginatum</i>
buk lesní	<i>Fagus sylvatica</i>
svízel hercynský	<i>Galium saxatile</i>
jestřábník zední	<i>Hieracium murorum</i>
sítina rozkladitá	<i>Juncus effusus</i>
sítina niťovitá	<i>Juncus filiformis</i>
sítina tenká	<i>Juncus tenuis</i>
bika bělavá	<i>Luzula luzuloides</i>
pstroček dvoulistý	<i>Maianthemum bifolium</i>
bezkoleneček modrý	<i>Molinia caerulea</i>
smilka tuhá	<i>Nardus stricta</i>
šťavel kyselý	<i>Oxalis acetosella</i>
bukovinec osladičovitý	<i>Phegopteris connectilis</i>
smrk ztepilý	<i>Picea abies</i>
smrk pichlavý	<i>Picea pungens</i>
věsenka nachová	<i>Prenanthes purpurea</i>
ostružiník srstnatý	<i>Rubus hirtus s.lat.</i>
ostružiník maliník	<i>Rubus idaeus</i>
bez červený	<i>Sambucus racemosa</i>
zlatobýl obecný	<i>Solidago virgaurea</i>
jeřáb ptačí	<i>Sorbus aucuparia</i>

pérnatec horský	<i>Thelypteris limbosperma</i>
sedmikvítka evropský	<i>Trientalis europaea</i>
brusnice borůvka	<i>Vaccinium myrtillus</i>
brusnice brusinka	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>
rozrazil lékařský	<i>Veronica officinalis</i>

Druhy na výše uvedeném seznamu dle použité literatury indikují půdy s kyselými substráty, které jsou většinou mělké až středně hluboké, zpravidla typu kambizem. Stanoviště mohou být podmáčená, ale i vysychavá a bývají spíše chudá na živiny.

Povodí vodního toku Červík

Vodní tok Červík se nachází v Beskydech. Povodí tvoří čtyři různé horniny, největší část zaujímá kamenitý až hlinito-kamenitý sediment, dále skupina pískovce, slepence, jílovce. Další skupinou je jílovec s pískovcem a poslední horninou je písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment, to je zobrazeno na obrázku 8. Zkoumaná oblast spadá do flyšového pásma. Na povodí byla zjištěna přítomnost celkem 25 druhů rostlin, to může poukazovat na nižší biodiverzitu, než v případě druhého povodí. Celkem 11 druhů je unikátních pro toto povodí a 14 jich je společných s druhým povodím. Z hlediska vzácnosti druhů se na tomto povodí vyskytuje jeden vzácnější druh, který vyžaduje další pozornost (C4a – červený seznam cévnatých rostlin ČR) – jedná se o žebrovníci různolistou (*Blechnum spicant*).

V povodí Červíku bylo zjištěno, že hodnoty pro obsah dusíku v nadložním humusu a v prvních 20 cm půdy se liší. Koncentrace dusíku je vyšší v nadložním humusu, kde průměrná koncentrace dosahuje 1,5 %, ale ve svrchní vrstvě minerální půdy je průměrná koncentrace dusíku 0,2 %. Průměrná hodnota indikátoru pro dusík je rovna 3,7, to poukazuje na půdy chudé až středně bohaté na dusík (obrázek 9). Poměr C/N pro nadložní humus je 19,5 a pro svrchní vrstvu minerální půdy 25,4. Pro koncentraci dusíku v nadložním humusu byla zjištěna slabá korelace ($r=0,26$) s hodnotou indikátoru N dle Ellenberga a pro svrchní vrstvu půdy byla tato korelace ještě slabší ($r=0,15$).

Rostliny lépe indikovaly pH půdy (obrázek 10 a 11), ale pouze v případě půdní reakce pro nadložní humus. Pro aktivní půdní reakci v nadložním humusu byla zjištěna korelace s Ellenbergovým indikačním číslem pro pH ($r=0,42$), ale u minerální půdy již

korelace zjištěna nebyla ($r=0,02$). U výměnného pH dosahoval korelační koeficient hodnoty měřeného pH a Ellenbergova indikačního čísla $r=0,47$ u nadložního humusu a $r=0,2$ u minerální půdy. Průměrná hodnota pH (H_2O i KCL) odpovídá průměrné hodnotě indikátoru R – jedná se o půdy kyselé.

Zajímavé je, že vrstva nadložního humusu má stejnou půdní reakci, jako celá sonda, kde průměr pH (H_2O) je 3,8 v případě humusu a 3,7 v rámci sondy.

Celková charakteristika povodí dle Ellenbergových indikačních hodnot je:

- stanoviště, kde převažují hemisciofyty
- nachází se převážně v chladných polohách až v intermediálních
- vztah ke kontinentalitě je intermediální (od suboceanického až po subkontinentální)
- půdy jsou čerstvé (normální, střední podmínky)
- půdy jsou většinou kyselé
- půdy jsou chudé až středně bohaté na dusík

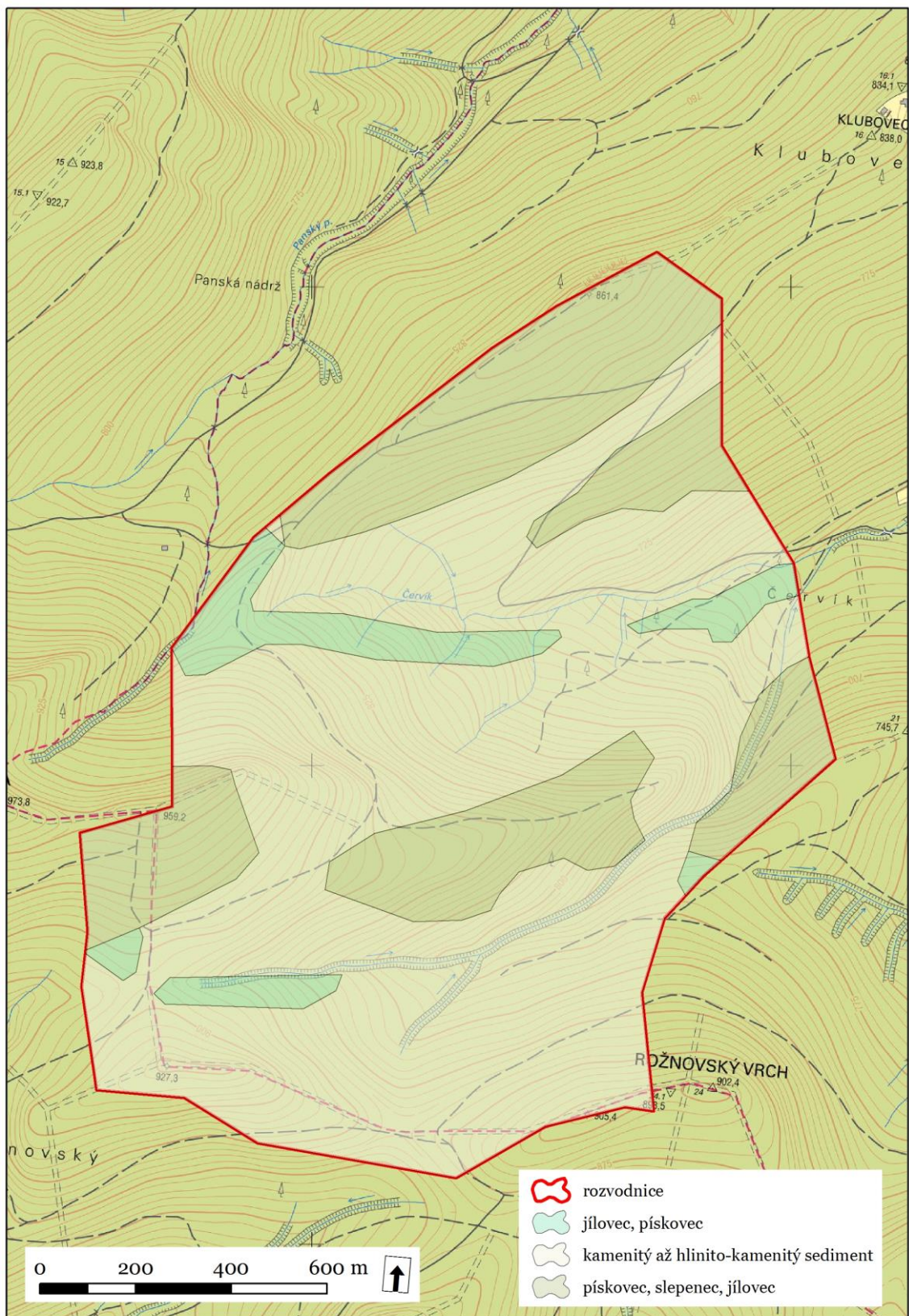
Jednotlivé hodnoty, ze kterých byla vytvořena charakteristika povodí, jsou uvedené v tabulce 3.

Tabulka 3 – indikační hodnoty povodí Červík, kde:

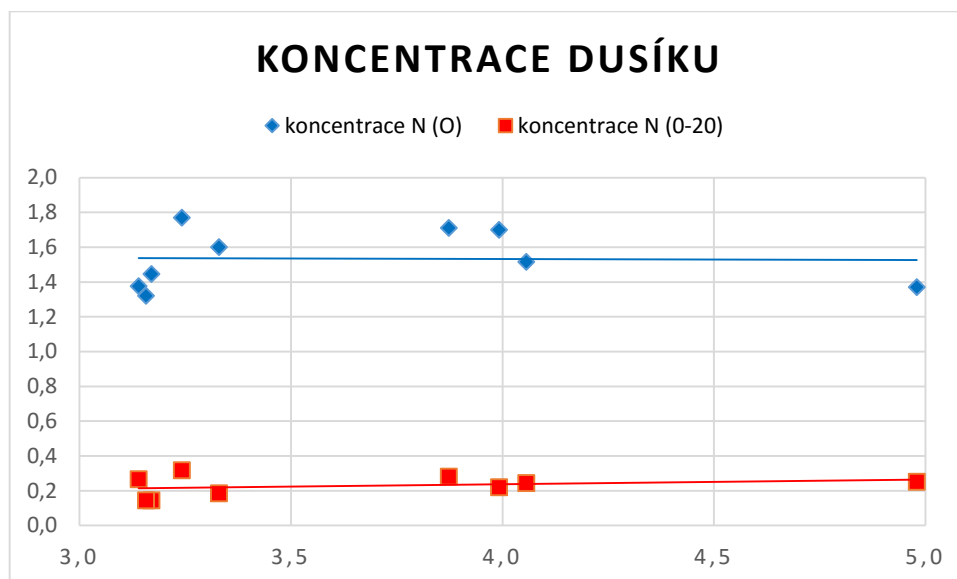
C1-C10 jsou jednotlivá stanoviště

L – vztah ke světlu, T – vztah k teplotě, K – vztah ke kontinentalitě, F – vztah k vlhkosti, R – vztah k půdní reakci, N – vztah k půdnímu dusíku (podrobněji viz strana 47 a 48)

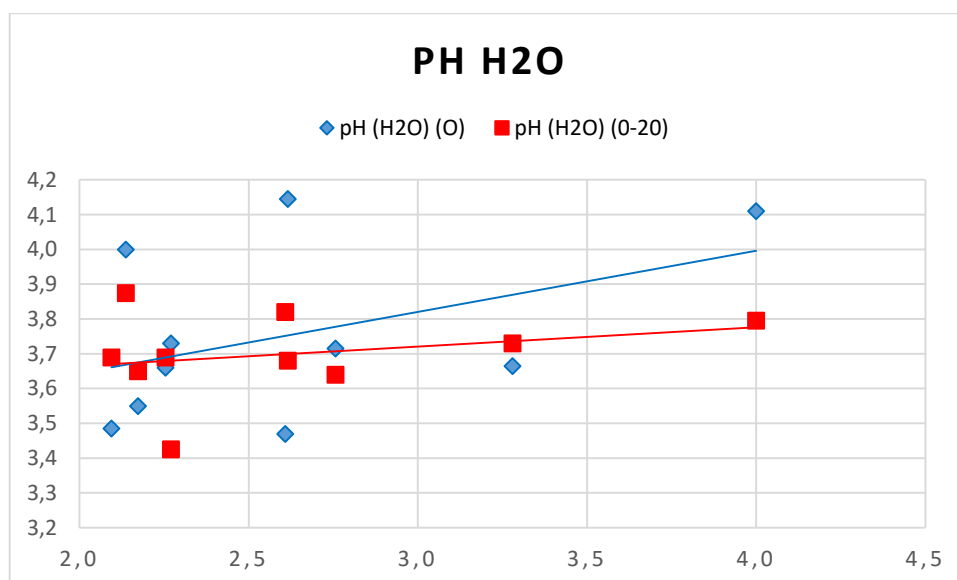
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	průměr
L	4,6	5,1	4,8	4,8	4,9	4,1	4,4	4,2	4,9	4,0	4,6
T	3,6	3,9	3,5	3,5	3,2	3,9	3,9	4,2	3,1	4,1	3,7
K	4,8	4,8	4,9	5,1	5,4	4,1	4,3	3,8	5,6	3,9	4,7
F	5,3	4,7	5,0	5,1	5,4	5,0	5,0	5,0	5,3	5,0	5,1
R	3,3	2,3	2,2	2,6	2,3	4,0	2,1	2,1	2,6	2,8	2,6
N	5,0	3,2	3,1	3,9	3,3	N/A	3,2	3,2	4,0	4,1	3,7
koncentrace N (O)	1,4	1,8	1,4	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,7	1,5	1,5
koncentrace N (0-20)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
C/N (O)	26,1	25,6	24,3	21,7	25,8	N/A	25,5	26,2	23,1	30,0	25,4
C/N (0-20)	18,2	22,8	17,5	16,6	18,1	N/A	21,7	17,0	21,3	22,2	19,5
pH (H2O) (O)	3,7	3,7	3,5	3,5	3,7	4,1	4,0	3,5	4,1	3,7	3,8
pH (H2O) (0-20)	3,7	3,4	3,6	3,8	3,7	3,8	3,9	3,7	3,7	3,6	3,7
pH (KCL) (O)	3,0	3,1	2,8	2,7	2,8	3,6	3,2	2,8	3,5	2,8	3,0
pH (KCL) (0-20)	3,1	2,7	3,0	3,1	2,9	3,2	3,1	3,0	2,7	2,9	3,0



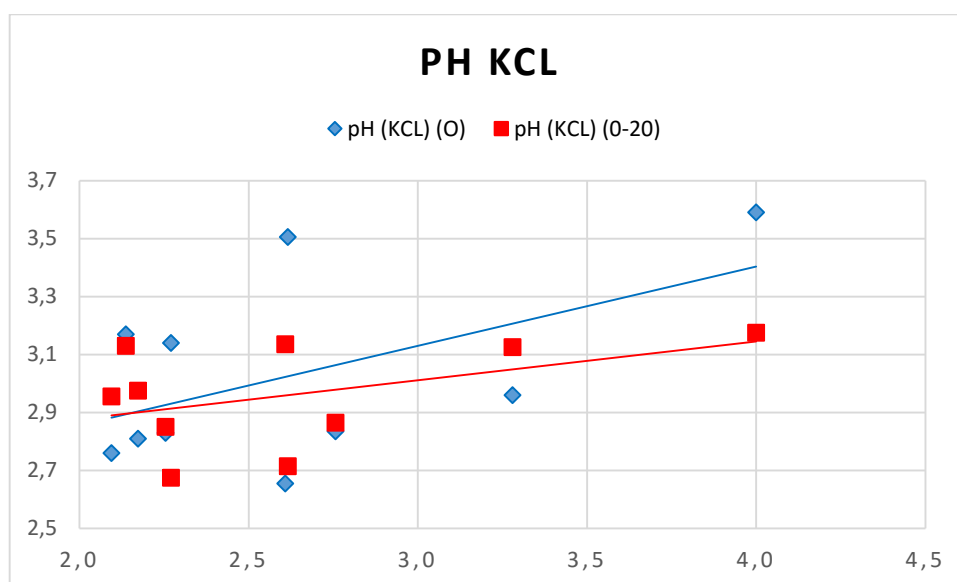
Obr. 8 – Geologie povodí vodního toku Červík
 Zdroj: geologická mapa ČR 1 : 25000 (GEOČR 25)



Obr. 9 – Koncentrace dusíku v půdách povodí Červík, na ose x jsou Ellenbergovy indikační hodnoty pro dusík



Obr. 10 – Aktivní půdní reakce půd v povodí Červík, na ose x jsou Ellenbergovy indikační hodnoty pro půdní reakci



Obr. 11 – Výměnná půdní reakce půd v povodí Červík, na ose x jsou Ellenbergovy indikační hodnoty pro půdní reakci

Povodí vodního toku Černá Nisa

Vodní tok Černá Nisa se nachází v oblasti Jizerských hor, které jsou tvořeny převážně krkonošsko-jizerským krystalinikem. Převažující horninou oblasti je granit. Na území povodí se též částečně vyskytuje rašelina, která se nachází také na granitu (obrázek 12). Z toho lze usoudit, že prostředí by mělo být poměrně kyselé. Na tomto povodí byla zjištěna přítomnost celkem 31 druhů rostlin. To může poukazovat na vyšší biodiverzitu v porovnání s Červíkem. Celkem 17 druhů je unikátních pro toto povodí a 14 je společných s povodím Červík. Byly zde nalezeny dva vzácnější druhy, které vyžadují další pozornost (C4a – červený seznam cévnatých rostlin ČR) – žebrovice různolistá a sedmikvítek evropský (*Trientalis europaea*). Z hlediska biodiverzity a ochrany přírody je toto povodí významnější.

V povodí Černé Nisy bylo zjištěno, že koncentrace dusíku pro vrstvu nadložního humusu a svrchních 20 cm půdy se liší. Koncentrace dusíku v nadložním humusu má průměrnou hodnotu 1,8 % (o 0,3 % více než u povodí Červík) a ve svrchní vrstvě minerální půdy je průměrná koncentrace dusíku 0,6 % (o 0,4 % více než u povodí Červík). Z toho lze usoudit, že povodí Černé Nisy je bohatší na dusík. Vrstva nadložního humusu měla vypočítanou hodnotu C/N rovnu 21,6 a celá sonda pak 22,7. To poukazuje, že kvalita humusu je v porovnání s půdami v povodí Červík nižší. Pro

vrstvu nadložního humusu byla zjištěna silná korelace ($r=0,72$) s hodnotou Ellenbergova indikátoru pro N a střední korelace ($r=0,53$) pro svrchní vrstvu minerální půdy (obrázek 13).

U půdní reakce vyšel korelační koeficient mezi Ellenbergovým indikačním číslem a měřenou hodnotou záporný (obrázek 13 a 14). Pro aktivní půdní reakci vrstvy nadložního humusu byla zjištěna záporná slabá korelace ($r=-0,32$), u minerální půdy ($r=-0,13$). Pro výměnnou půdní reakci byla zjištěna slabá záporná korelace ($r=-0,25$) mezi nadložním humusem a Ellenbergovým indikátorem a zanedbatelná korelace ($r=0,01$) pro svrchní vrstvu minerální půdy. Průměrná hodnota pH (H_2O i KCL) ale odpovídá vypočítané průměrné hodnotě indikátoru R, jedná se o půdy silně kyselé až kyselé. Lze vidět, že nadložní vrstva humus má o něco nižší pH než je pH sondy (pH 3,5 a 3,9), to by mohlo být ovlivněno opadem, bylo by vhodné získat více informací z povodí a ověřit toto tvrzení.

Celková charakteristika povodí dle Ellenbergových indikačních hodnot je:

- stanoviště, kde převažují hemisciofyty
- nachází se převážně v chladných polohách
- vztah ke kontinentalitě je intermediární (od suboceanického až po subkontinentální)
- půdy jsou vlhké (nevysychají)
- půdy jsou většinou silně kyselé až kyselé
- půdy jsou chudé na dusík

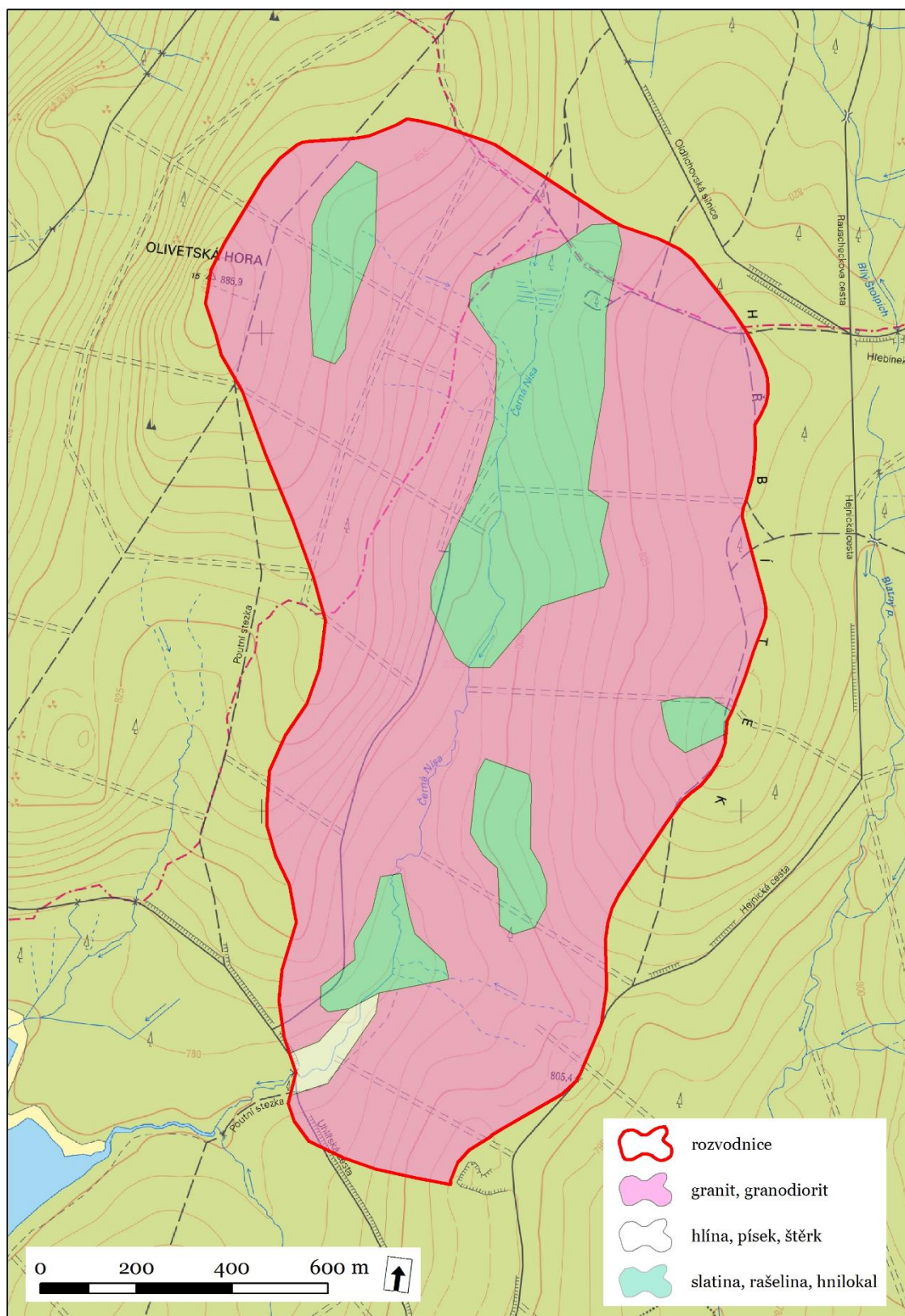
Jednotlivé hodnoty, ze kterých byla vytvořena charakteristika povodí, jsou uvedené v tabulce 4.

Tabulka 4 – indikační hodnoty povodí Uhlířská, kde:

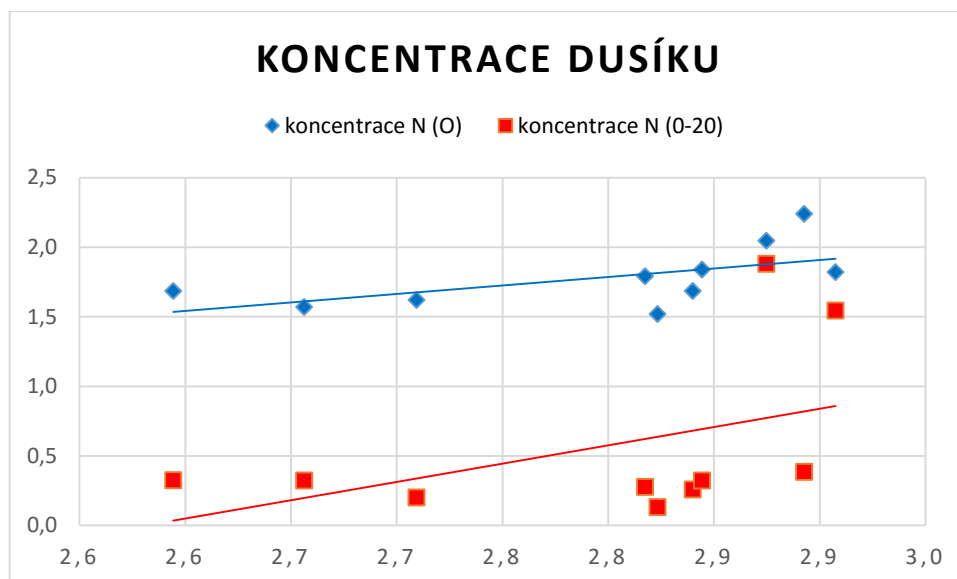
U1-U10 jsou jednotlivá stanoviště

L – vztah ke světlu, T – vztah k teplotě, K – vztah ke kontinentalitě, F – vztah k vlhkosti, R – vztah k půdní reakci, N – vztah k půdnímu dusíku (podrobněji viz strana 47 a 48)

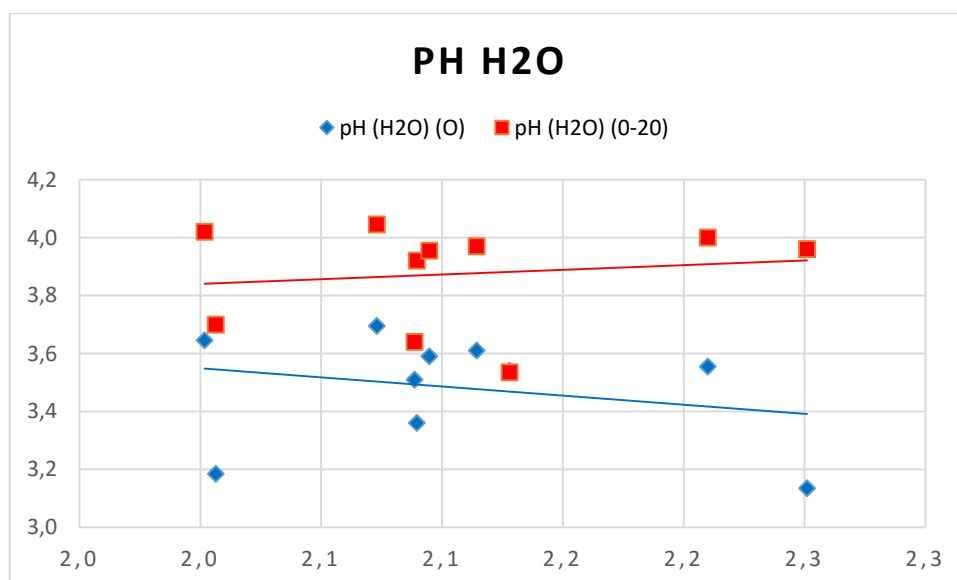
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	průměr
L	5,2	5,3	5,2	5,6	5,5	5,2	5,0	5,1	5,3	5,1	5,2
T	3,2	3,2	3,3	3,6	3,4	3,2	3,2	3,0	3,3	3,1	3,3
K	5,4	4,7	5,2	4,4	5,1	5,3	5,5	5,6	4,9	5,5	5,2
F	6,2	6,9	6,5	6,4	7,6	6,8	6,3	6,7	7,7	5,4	6,7
R	2,3	2,0	2,0	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
N	2,7	2,8	2,8	2,7	2,6	2,9	2,8	2,9	2,8	2,9	2,8
koncentrace N (O)	1,6	1,7	1,5	1,6	1,7	2,0	1,8	2,2	1,8	1,8	1,8
koncentrace N (0-20)	0,2	0,3	0,1	0,3	0,3	1,9	0,3	0,4	0,3	1,5	0,6
C/N (O)	24,7	21,5	24,9	22,1	20,9	20,3	20,3	18,8	20,7	22,0	21,6
C/N (0-20)	18,9	21,5	22,7	21,4	21,1	25,9	19,7	20,7	22,2	32,9	22,7
pH (H2O) (O)	3,1	3,6	3,2	3,6	3,4	3,5	3,6	3,6	3,7	3,5	3,5
pH (H2O) (0-20)	4,0	4,0	3,7	4,0	3,9	3,5	4,0	4,0	4,0	3,6	3,9
pH (KCL) (O)	2,7	3,2	2,6	3,0	2,8	3,0	3,0	3,0	3,2	2,9	2,9
pH (KCL) (0-20)	3,6	3,5	3,2	3,4	3,5	2,8	3,4	3,4	3,5	2,7	3,3



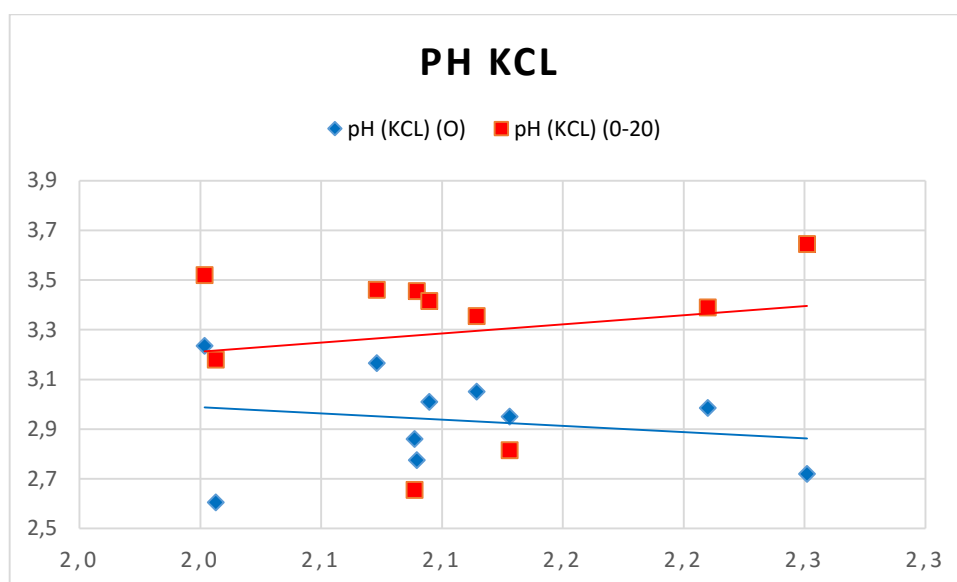
Obr. 12 – Geologie povodí vodního toku Černá Nisa
Zdroj: geologická mapa ČR 1 : 25000 (GEOČR 25)



Obr. 13 – Koncentrace dusíku v půdách povodí Černé Nisy, na ose x jsou Ellenbergovy indikační hodnoty pro dusík



Obr. 14 – Aktivní půdní reakce půdy v povodí Černé Nisy, na ose x jsou Ellenbergovy indikační hodnoty pro půdní reakci



Obr. 15 – Výměnná půdní reakce půdy v povodí Černé Nisy, na ose x jsou Ellenbergovy indikační hodnoty pro půdní reakci

4. Diskuze

Výzkum, týkající se využití rostlin, jako indikátorů půdních vlastností je častým tématem velkého množství odborných projektů. Velká část prací se zabývá využitím Ellenbergových indikačních hodnot (EIH). Téměř většina literatury, která se věnuje popisu rostlinných stanovišť, používá právě EIH ve formě původní nebo jsou určitým způsobem tyto hodnoty kalibrovány na místní podmínky. Bylo publikováno značné množství prací, které hodnotí využití EIH v praxi (Balkovič a spol., 2012, Degorski 1982, Dzwonko, 2001, Ertsen a spol., 1998, Hill a Carey, 1997, Holzner, 1978, Křeček a spol., 2010, Schaffers a spol., 2000, Smart, 2004, Steele, 1955, Thompson, 1993, Wamelink a spol., 2002, Witte, 2004)

Na zkoumaném území byly nalezeny neshody mezi naměřenými chemickými vlastnostmi a vypočtenými hodnotami EIH. Korelace mezi Ellenbergovými indikátory a naměřenými hodnotami pH a koncentrace dusíku byly velmi slabé nebo žádné. Podobnou situaci uvádí Smart (2004), podle kterého je možné nalézt rozpory mezi hodnotami EIH a reálně naměřenými hodnotami, ale zároveň píše, že nelze vinit EIH a příčina je spíše v odlišnostech mezi jednotlivými rostlinnými společenstvy. Jiný závěr ale mají Křeček a spol. (2010), kteří použili EIH pro charakteristiku části povodí Jizerky a došli k závěru, že EIH dobře popisují vlastnosti stanoviště. Možné vysvětlení ukazuje Dzwonko (2001) který na modelovém území v Polsku zjistil, že EIH jsou vhodné k popisu původních lesních porostů, ale nepřesné jsou v rámci modelového území u 70 let starého lesa. Proto je dle Dzwonka žádoucí, aby se postupovalo s opatrností při používání EIH pro sekundární porosty a pokud se použijí, je nutné ověřit výsledky terénním průzkumem. To by mohlo být jedním z důvodů nefunkčnosti EIH na zkoumaném území, kde právě většina Jizerských hor byla velkou holinou v 80. a 90. letech.

Zajímavé ale je, že právě v povodí Černé Nisy byla zjištěna střední korelace koncentrace dusíku s hodnotou indikátoru N ve svrchní vrstvě minerální půdy. Podle Schafferse a spol. (2000) jsou EIH pro dusík spíše vhodné jako velmi dobrý ukazatel koncentrace dusíku v rostlině. To je dle nich přesnější než indikace obsahu dusíku v půdě. Stejný názor má i Thompson (1993), který prokázal korelaci mezi koncentrací dusíku v rostlině a hodnotou EIH pro dusík. Thompson ale v jeho studii neporovnal

získané výsledky s měřeními pro obsah půdního dusíku. Schaffers a spol. (2000) také říkají, že hodnoty pro dusík dobře korelují s množstvím nadzemní biomasy, stejný případ popisují i Ertsen a spol. (1998). Na modelovém území Černé Nisy byla zjištěna silná korelace právě pro vrstvu nadložního humusu s hodnotou indikátoru N a to by tedy mohlo být spojené s množstvím nadzemní biomasy. Stejného výsledku ale nebylo dosaženo na povodí Červík, kde byla korelace s indikátorem N slabá.

Schaffers a spol. (2000) dále píše, že by bylo vhodnější hodnoty pro půdní dusík nazývat jako „hodnoty produktivity“, k čemuž se přiklání i Hill a Carey (1997). Ellenberg (1992) napsal, že hodnoty pro dusík dobře ukazují na obsah minerálního dusíku v půdě, ale zároveň může být indikátor dusíku interpretován jako ukazatel celkového stavu živin v půdě. Dzwonko (2001) prokázal slabou korelaci mezi EIH pro dusík a obsahem dusíku v půdě a naopak silnou korelaci s obsahem fosforu v půdě. Podobně silnou korelaci popisují ve své studii i Ertsen a spol. (1998). To nebylo možné porovnat, jelikož se v databázi za modelové území koncentrace fosforu v půdě nevyskytovala, bylo by vhodné získat více údajů ze zkoumaných povodí.

Pro pH byla zjištěna střední korelace s indikátorem R pouze v případě povodí Červík a to ve vrstvě nadložního humusu. To může být způsobeno kyselostí opadu. Na povodí Černé Nisy vyšla slabá záporná korelace s indikátorem R v rámci nadložní vrstvy. Bylo by vhodné ověřit získané výsledky na dalších povodích a to dále diskutovat. Možné vysvětlení popisuje Holzner (1978), který píše, že stejná skupina druhů se chová v rámci Evropy různě. Například na nejsevernější hranici výskytu druhu se nachází na vápnitých půdách, kdežto v suboceanickém klimatu se vyhýbají půdám s vyšším obsahem vápníku. V oblastech s kontinentálním klimatem najdeme tyto druhy pouze na kyselých půdách. Pro takové rostliny je hodnota EIH pro střední Evropu poměrně bezvýznamná. To ale pravděpodobně není aplikovatelné na zkoumaná povodí Červíka a Černé Nisy, jelikož se nacházejí přibližně 250 km od sebe. Schaffers a spol. (2000) popisují podobnou situaci jako Holzner, v jejich datech se vyskytoval druh (vítod obecný – *Polygala Vulgaris*), který má hodnotu EIH pro půdní reakci rovnu 3 (kyselé půdy), ale v jejich studii pro Holandsko má hodnotu 5 (slabě kyselé půdy). Podobný případ zaznamenal i Steele (1955), podle kterého rostlina (pupava obecná – *Carlina vulgaris*) preferuje vápnité půdy v jižní Anglii, kdežto ve střední Evropě se vyskytuje na mnohem širším spektru půd. Podle Schafferse a spol., (2000) EIH pro pH popisují

spíše množství vápníku v půdě, než skutečnou půdní reakci a dle nich by se mělo jednat spíše o „vápníkové hodnoty“. Podobný názor má i Degorski (1982) který píše, že množství výměnného iontu vápníku jasně koreluje s hodnotou EIH pro půdní reakci. Proto by bylo vhodné na zkoumaných povodích získat informace o množství vápníku v půdě a to diskutovat dále.

Jiné výsledky má ale například Balkovič a spol., (2012), kteří prokázaly funkčnost EIH pro pH na jejich modelovém území na Slovensku. Dalším autorem, který prokázal použitelnost EIH je Szymura (2014), kdy na zkoumaném území na Polské části Krkonoš EIH odpovídaly vlastnostem stanoviště. Podle Schafferse a spol. (2000) jsou EIH podpořeny terénním výzkumem a jejich použití je v oblasti střední Evropy přijatelné. Zároveň poukazují na to, že EIH fungují dobře i když vlastně popisují pouze jeden parametr. Jako problém zmiňují nejasnost v tom, co konkrétně jednotlivé EIH popisují. Proto je dle nich žádoucí, aby se používal celkový popis stanoviště pomocí EIH, pak jsou EIH vhodné k použití. EIH pro rostliny mají podle Larssona a spol., (2003) své optimum ve střední Evropě, kde je lze používat bez dalších úprav. Wamelink a spol. (2002) se zabývali otázkou, zda je nutné upravit EIH pomocí společenstev, kde stejná rostlina v jiných společenstev má rozdílné hodnoty EIH. Jejich výsledkem bylo, že je vhodné porovnávat EIH pouze mezi stejnými typy vegetace. To ale nepotvrzují Witte a spol. (2004), kteří zmiňují použití nevhodné statistické metody Wamelinkem.

Rostliny, které se nacházely na obou povodích, mohou indikovat poměrně široké spektrum vlastností. Na začátku práce bylo řečeno, že není vhodné popisovat stanoviště podle jediné rostliny, ale je třeba se zaměřit na celé společenstvo. Na modelovém území v tomto případě literaturou popsané vlastnosti odpovídají vlastnostem stanovišť.

5. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo provést rešerši dostupné literatury zabývající se rostlinnou indikací a použít získané informace pro zhodnocení modelového území. Rešerše byla rozdělena na indikaci chemických a fyzikálních vlastností, které se vzájemně doplňují. Modelové území zahrnovalo dvě povodí, Červík a Černá Nisa.

Rešerše z velké části vycházela z publikace Ellenberga (2009, 1992) a jeho indikačních hodnot, z Ellenbergových děl vycházejí další autoři, ze kterých autor čerpal. Získané informace byly použity pro zpracování dvou povodí, kde byly spočítány indikační hodnoty pro vztah ke světlu, teplotě, kontinentalitě, vlhkosti, půdní reakci a k půdnímu dusíku a na jejich základě autor práce popsal vlastnosti stanovišť. Dále byly porovnány vybrané indikační hodnoty s naměřenými daty z terénu.

Výsledky se u obou modelových povodí lišily, u povodí Červík byla vypočtena střední korelaci mezi pH ve vrstvě nadložního humusu a indikátorem R. U povodí Černé Nisy pak byla zjištěna silná korelace mezi koncentrací dusíku ve svrchní vrstvě humusu a indikátorem N a dále střední korelace mezi koncentrací dusíku ve svrchní vrstvě půdy a indikátorem N. Z těchto výsledků není vhodné dělat závěry o funkčnosti Ellenbergových indikačních hodnot, a proto by bylo vhodné porovnat údaje z dalších modelových území.

Přehled použité literatury

ARTIST, Russell. *The Value of Rumex Acetosella as an Acid Indicator.* Butler Univesity, 1931, 2(9).

BALKOVIČ, Juraj, Jozef KOLLÁR a Vojtech ŠIMONOVÍČ. *Experience with using Ellenberg's R indicator values in Slovakia: Oligotrophic and mesotrophic submontane broad-leaved forests.* Biologia [online]. 2012-01-1, 67(3), - [cit. 2016-04-02]. DOI: 10.2478/s11756-012-0027-8. ISSN 1336-9563. Dostupné z: <http://www.degruyter.com/view/j/biolog.2012.67.issue-3/s11756-012-0027-8/s11756-012-0027-8.xml>

BILLINGS, W. D. *The environmental Complex in Relation to Plant Growth and Distribution. Quarterly Review of Biology.* 1952, vol 27, s 251-265. Dostupné z: http://www.jstor.org/stable/2813531?seq=1#page_scan_tab_contents

BIRKS, H. J. B. PALEOECOLOGY: The Rise and Fall of Forests. Science. 2004, 305(5683), 484-485. DOI: 10.1126/science.1101357. ISSN 0036-8075. Dostupné také z: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1101357>

BROUWER, C, A GOFFEAU a M. HEIBLOEM. *Irrigation Water Management: Training Manual No. 1 - Introduction to Irrigation* [online]. 1985 [cit. 2015-10-28]. Dostupné z: <http://www.fao.org/docrep/r4082e/r4082e00.htm>

CHYTRÝ, Milan. *Vegetace České republiky 1. Travinná a keříčková vegetace.* 1. vyd. Praha: Academia, 2007. s., 526 s. Vegetace České republiky. ISBN 978-80-200-1462-7.

CHYTRÝ, Milan. *Vegetace České republiky 2. Ruderální, plevelová, skalní a suťová vegetace.* 1. vyd. Praha: Academia, 2009. s., 524 s. Vegetace České republiky. ISBN 978-80-200-1769-7.

CHYTRÝ, Milan, Tomáš KUČERA, Martin KOČÍ. *Katalog biotopů České republiky: interpretační příručka k evropským programům Natura 2000 a Smaragd.* Vyd. 1. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR ve spolupráci s katedrou botaniky Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně a Botanickým ústavem Akademie věd České republiky, 2001, 304 s. ISBN 80-860-6455-7.

CULEK, Martin. *Biogeografické členění České republiky.* Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2005, 589 s. ISBN 80-86064-82-4.

CLEMENTS, Frederick. *Plant Succession and Indicators.* New York: Hafner Publishing Co Ltd, 1928, 453 s. ISBN 9780028429605.

DEGORSKI, M. L. *Usefulness of Ellenberg bioindicators in characterizing plant communities and forest habitats on the basis of data from the range "Grabowy" in Kampinos Forest.* Ekologia Polska. 1982, 30(3-4), 453-477.

DELHAIZE, E. & P. R. RYAN *Aluminium toxicity and tolerance in plants.* Plant Physiology, 1995, 107: 315-321.

DZWONKO, Zbigniew. *Testing of Ellenberg and Zarzycki indicator values as predictors of soil and light conditions in woodlands.* Journal of Applied Ecology. 2001, 38, 942-951

ELLENBERG, Heinz. *Vegetation ecology of central Europe.* 4th ed. /. Cambridge: Cambridge University Press, 2009, xxii, 731 s. ISBN 9780521236423.

ELLENBERG, Heinz. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht.* 2. voll. neu bearb. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer, 1978, 981 s. ISBN 38-001-3418-7.

ELLENBERG, Heinz. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa.* 2. verb. u. erw. Aufl. Göttingen: Erich Goltze, 1992, 258 s. Scripta geobotanica, Volume 18 (1992). ISBN 3-88452-518-2.

ERTSEN, A. C. D., J. R. M. ALKEMADE a M. J. WASSEN. *Calibrating Ellenberg indicator values for moisture, acidity, nutrient availability and salinity in the Netherlands.* Plant Ecology. 1998, 135(1), 113-124. DOI: 10.1023/A:1009765529310. ISSN 13850237. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1023/A:1009765529310>

FALKENGREN-GRERUP, U. a M. SCHÖTTELNDREIER. *Vascular plants as indicators of nitrogen enrichment in soils.* Plant ecology [online]. 2004, 172(1): 51-62 [cit. 2015-11-07]. Dostupné z: <http://www.jstor.org/stable/20146587>

GOSLEE, S. C., R. P. BROOKS a C. A. COLE. *Plants as indicators of wetland water source.* Plant Ecology. 1997, (131): 199-206.

HANSEN, E. A. a B. M. GULLVAG. *Copper tolerance of Viscaria alpina.* Ecotoxicology. 1984, , 103-106.

HILL, M.O. a P.D. CAREY. *Prediction of yield in the Rothamsted Park Grass Experiment by Ellenberg indicator values.* Journal of Vegetation Science. 1997, 8(4), 579-586. DOI: 10.2307/3237210. ISSN 11009233. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.2307/3237210>

HOLZNER, Wolfgang. *Weed Species and Weed Communities.* Plant Species and Plant Communities. 1978, , 119-126.

HRUŠKA, Jakub a Emil CIENCIALA (eds.). *Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd - limitující faktor současného lesnictví.* Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2001, 159 s. ISBN 80-721-2190-1.

JENÍK, Jan. *Obecná geobotanika.* Praha, 1972.

KERSHAW, Linda. *Rare vascular plants of Alberta.* Edmonton, Alta.: Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, 2001, xlv, 484 p. ISBN 0888643195.

KILLHAM, Ken. *Soil ecology.* New York: Cambridge University Press, 1994, xviii, 242 p. ISBN 05-214-3521-8.

KLIMO, Emil. *Lesnická pedologie.* Dot. 2. nezm. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000, 259 s. ISBN 80-715-7306-X.

KOLÁŘ, Filip a Petr VÍT. *Endemické rostliny českých hadců.* Živa [online]. [cit. 2015-12-06]. Dostupné z: <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/endemicke-rostliny-ceskych-hadcu-1-zvlastnosti-had.pdf>

KOVÁŘ, Pavel. *Geobotanika* [online]. Univerzita Karlova v Praze - nakladatelství Karolinum, 2001 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: <http://old.botany.upol.cz/prezentace/duch/geobot.pdf>

KRECEK, Josef, Jana NOVAKOVA a Zuzana HORICKA. *Ellenberg's indicator in water resources control: The Jizera Mountains, Czech Republic.* Ecological Engineering [online]. 2010, 36(9), 1112-1117 [cit. 2016-03-20]. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.01.011. ISSN 09258574. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925857410000376>

KRUCKEBERG, Arthur R. *Geology and plant life: the effects of landforms and rock types on plants.* 1st pbk. ed. Seattle (Wash.): University of Washington Press, 2004. ISBN 9780295984520.

LEPP N. W. *Effect of Heavy Metal Pollution on Plants Effects of Trace Metals on Plant Function.* Dordrecht: Springer Netherlands, 1981. ISBN 978-940-1173-391.

MEAD, D. J. a I. S. CORNFORTH. *Proceedings of the Trees and Soil Workshop.* Agronomy Society of New Zealand Special Publication [online]. Canterbury: Lincoln University Press, 1995, (10) [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: http://warnercnr.colostate.edu/~dan/papers/TreeSoilWorkshop_1995.pdf

MEINZER, O. *Plants as indicators of ground water.* Washington: U.S. Govt. Print. Off., 1927, v, 95 p.

Meersseman, A., Faucon, M.-P., Meerts, P., Mahy, G., Malaisse, F. & Ngongo Luhembwe, M. *Silene cobalticola.* The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T195394A2381945. 2014 <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T195394A2381945.en>

MORAVEC, J a kolektiv. *Fytocenologie: nauka o vegetaci.* 1. vyd. Praha: Academia, 1994, 403 s. ISBN 80-200-0457-2.

PETERSON, P. J. a G. W. BUTLER. *Significance of Selenocystathionine in an Australian Selenium-accumulating Plant, Neptunia amplexicaulis.* Nature. 1967-2-11, 213(5076), 599-600. DOI: 10.1038/213599a0. ISSN 0028-0836. Dostupné také z: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/213599a0>

PLINIUS SECUNDUS, G. *The History of the World: Commonly called the Natural history of C. Plinius Secundus.* London, 1634.

SANITÀ DI TOPPI, L a R GABRIELLI. *Response to cadmium in higher plants.* Environmental and Experimental Botany. 1999, 41(2): 105-130. DOI: 10.1016/S0098-8472(98)00058-6. ISSN 00988472. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098847298000586>

SCHAFFERS, André P. a Karlè V. SÝKORA. *Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements.* Journal of Vegetation Science. 2000, 11(2), 225-244. DOI:

10.2307/3236802. ISSN 11009233. Dostupné také z:
<http://doi.wiley.com/10.2307/3236802>

SLAVÍKOVÁ, Jiřina. *Ekologie rostlin*. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova, 1982, 247 s.

SMART, Simon M. a W. Andrew SCOTT. *Bias in Ellenberg indicator values – problems with detection of the effect of vegetation type*. Journal of Vegetation Science. 2004, 15(6), 843-. DOI: 10.1658/1100-9233(2004)015[0843:BIEIVP]2.0.CO;2. ISSN 1100-9233. Dostupné také z: [http://doi.wiley.com/10.1658/1100-9233\(2004\)015\[0843:BIEIVP\]2.0.CO;2](http://doi.wiley.com/10.1658/1100-9233(2004)015[0843:BIEIVP]2.0.CO;2)

STEELE, B. *Soil pH and Base Status as Factors in the Distribution of Calcicoles*. The Journal of Ecology. 1955, 43(1), 120-. DOI: 10.2307/2257125. ISSN 00220477. Dostupné také z: <http://www.jstor.org/stable/2257125?origin=crossref>

SÝKORA, Ladislav. *Rostlinné indikátory některých typů základových půd*. Část 1. Praha: Ústav stavební geologie, 1955, 288 s.

SÝKORA, Ladislav. *Rostlinné indikátory některých typů základových půd*. Část 2. Praha: Ústav stavební geologie, 1955, 217 s.

SÝKORA, Ladislav. *Rostliny v geologickém výzkumu*. 1. vyd. Praha: Nakl. ČSAV, 1959, 322 s.

SZYMURA, Tomasz. *Bioindication with Ellenberg's indicator values: A comparison with measured parameters in Central European oak forests*. Ecological indicators [online]. 2014, 46, 495-503 [cit. 2016-03-20]. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.07.013. ISSN 1470160X.

ŠARAPATKA, Bořivoj. *Pedologie a ochrana půdy*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, 232 s. ISBN 978-80-244-3736-1.

THOMPSON, K. *Ellenberg numbers revisited*. Phytocoenologia [online]. 1993, 23(1-4), 277-289 [cit. 2016-04-02]. DOI: 10.1127/phyto/23/1993/277. ISSN 0340-269x. Dostupné z: http://www.schweizerbart.de/papers/phyto/detail/23/81125/Ellenberg_numbers_revisited?af=crossref

TOMÁŠEK, Milan. *Atlas půd České republiky*. 1. vyd. Praha: Český geologický ústav, 1995. 36 s., 42. ISBN 80-7075-198-3.

WADE, W. McCall a Roger T. WATANABE. *Soil reaction*. General home garden series. Hawaii: University of Hawaii, 1980, (8).

WAMELINK, G.W.W., V. JOOSTEN, H.F. VAN DOBBEN a F. BERENDSE. *Validity of Ellenberg indicator values judged from physico-chemical field measurements*. Journal of Vegetation Science. 2002, 13(2), 269-278. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2002.tb02047.x. ISSN 11009233. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02047.x>

WITTE, J.P.M. a J.R. VON ASMUTH. *Do we really need phytosociological classes to calibrate Ellenberg indicator values?* Journal of Vegetation Science. 2003, 14(4), 615-. DOI: 10.1658/1100-9233(2003)014[0615:DWRNPC]2.0.CO;2. ISSN 1100-

9233. Dostupné také z: [http://doi.wiley.com/10.1658/1100-9233\(2003\)014\[0615:DWRNPC\]2.0.CO;2](http://doi.wiley.com/10.1658/1100-9233(2003)014[0615:DWRNPC]2.0.CO;2)

ZHANG, Wenqing, Feng XU a Janusz J. ZWIAZEK. Responses of jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings to root zone pH and calcium. *Environmental and Experimental Botany* [online]. 2015, vol. 111, s. 32-41 [cit. 2014-11-30]. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.11.001. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098847214002536>

Seznam příloh

Příloha 1 – CD s elektronickou verzí práce

Příloha 2 – Vybrané rostlinné indikátory